



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

TESIS DOCTORAL

**EL AMBIENTE ACÚSTICO URBANO EN MADRID:  
ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL Y AFECCIÓN POTENCIAL  
SOBRE POBLACIÓN Y EQUIPAMIENTOS SENSIBLES**

PEDRO MARTÍNEZ SUÁREZ

Madrid, 2015







FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

Programa de Doctorado en "Territorio, medio ambiente y sociedad"

TESIS DOCTORAL

**EL AMBIENTE ACÚSTICO URBANO EN MADRID:  
ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL Y AFECCIÓN POTENCIAL  
SOBRE POBLACIÓN Y EQUIPAMIENTOS SENSIBLES**

**Memoria para optar al grado de Doctor en Geografía presentada por:**

PEDRO MARTÍNEZ SUÁREZ

**Este trabajo ha sido dirigido por:**

Dr. ANTONIO MORENO JIMÉNEZ

Catedrático de Geografía Humana

Universidad Autónoma de Madrid

Madrid, noviembre de 2015







*A mis padres, Paco y Laura, y a mi hermana, Blanca,  
por creer en mí y apoyarme desde siempre en todo.*

*A Marina,  
por darme más vida.*



# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>13</b>
<b>PRESENTACIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>19</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES</b>	<b>21</b>
1.1. OBJETO DE ESTUDIO	22
1.2. ¿POR QUÉ EL RUIDO? ANTECEDENTES DE SU ESTUDIO GEOGRÁFICO-AMBIENTAL	26
1.3. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN	29
<b>2. MARCO CONCEPTUAL: EL SONIDO, EL RUIDO Y LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA</b>	<b>31</b>
2.1. EL SONIDO	32
2.1.1. Definición de sonido	32
2.1.2. Características y propiedades físicas del sonido	34
2.1.3. Percepción del sonido por el oído humano	48
2.1.4. La medición instrumental del sonido	49
2.1.4.1. Instrumental y equipos de medida	50
2.1.4.2. Metodología y técnicas de medición	54
2.1.4.3. Consideraciones finales	59
2.2. EL RUIDO Y LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	60
2.2.1. Definición de ruido	60
2.2.2. El mecanismo de la contaminación acústica	64
2.2.3. Caracteres y rasgos del ruido determinantes de las molestias	65
2.2.4. Efectos nocivos de la contaminación acústica	71
2.2.4.1. Efectos fisiológicos y psicológicos	72
2.2.4.2. Efectos psicosociales	76
2.2.4.3. Efectos sobre otros seres vivos	79
2.2.4.4. Otros efectos del ruido	80
<b>3. EL RUIDO COMO PROBLEMA AMBIENTAL URBANO</b>	<b>81</b>
3.1. INTRODUCCIÓN	82
3.2. PRINCIPALES FUENTES DE RUIDO URBANO	90
3.2.1. Tráfico rodado	90
3.2.2. Tráfico ferroviario	92
3.2.3. Tráfico de aeronaves	94
3.2.4. Sirenas, alarmas, megafonía y reclamos	95
3.2.5. Actividades comunitarias y establecimientos de pública concurrencia, de ocio y/o funcionamiento nocturno	96
3.2.6. Obras, trabajos y actividades varias	98
3.2.7. Edificaciones	100
3.2.8. Actividades, instalaciones y equipamientos industriales	101
3.2.9. Actividades de carácter doméstico o de la vecindad	102

3.2.10. Presencia de peatones en la vía pública y comportamiento ciudadano	102
3.2.11. La naturaleza y los agentes atmosféricos	103
3.2.12. Consideraciones finales	104
3.3. APROXIMACIÓN AL CONTROL Y A LA LUCHA CONTRA EL RUIDO URBANO	106
<b>4. MARCO NORMATIVO SOBRE EL RUIDO AMBIENTAL</b>	<b>115</b>
4.1. NORMATIVA Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES	116
4.1.1. Unión Europea	116
4.1.2. Otros organismos internacionales de referencia	119
4.2. REGULACIÓN ESTATAL	120
4.3. REGULACIÓN AUTONÓMICA	132
4.4. REGULACIÓN LOCAL	136
4.5. CONSIDERACIONES FINALES	141
<b>5. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b>	<b>143</b>
5.1. HIPÓTESIS Y PREGUNTAS	144
5.2. OBJETIVOS	145
5.2.1. Objetivos generales	145
5.2.2. Objetivos específicos	146
<b>6. DATOS Y MÉTODOS</b>	<b>149</b>
6.1. ZONA DE ESTUDIO	150
6.2. LOS PLANOS ACÚSTICOS Y MAPAS DE RUIDO	155
6.2.1. Definiciones y marco conceptual	155
6.2.2. Justificación normativa	158
6.2.2.1. A nivel internacional	158
6.2.2.2. A nivel estatal	159
6.2.2.3. A nivel autonómico	161
6.2.3. El Plano Acústico del Ayuntamiento de Madrid de 2002	162
6.2.3.1. Justificación normativa	162
6.2.3.2. Antecedentes	163
6.2.3.3. Necesidad de un nuevo plano acústico en Madrid	163
6.2.3.4. Principales diferencias de diseño y protocolo de realización del Plano Acústico de 2002 respecto del de 1986	164
6.2.3.5. Características del Plano Acústico de Madrid de 2002	165
6.2.3.6. Valoración crítica del Plano Acústico de Madrid de 2002 y posibles limitaciones interpretativas	169
6.2.4. Rediseño informático del Plano Acústico de Madrid de 2002 integrado en un SIG compatible	170
6.2.4.1. Compatibilidad de archivos	171
6.2.4.2. Depuración y corrección de anomalías del Plano Acústico de 2002	178
6.2.5. Otros recursos municipales de difusión de la información acústica en Madrid	180



6.3. LIMITACIONES DE LAS FUENTES DE DATOS SONOROS	181
6.4. OTROS DATOS Y FUENTES	182
6.5. CUESTIONES METODOLÓGICAS Y PROCEDIMENTALES	185
6.5.1. Plan de trabajo y diseño metodológico	185
6.5.2. Técnicas de procesamiento y análisis	186
<b>7. DIAGNÓSTICO DEL AMBIENTE ACÚSTICO URBANO EN MADRID: ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL</b>	<b>191</b>
7.1. INTRODUCCIÓN	192
7.2. COBERTURA DEL PLANO ACÚSTICO DE MADRID	192
7.2.1. Cobertura sobre el núcleo urbano de Madrid	192
7.2.2. Cobertura sobre los distritos y barrios de Madrid	197
7.3. LOS NIVELES ACÚSTICOS DE MADRID PARA EL PERIODO DE 24 HORAS	200
7.3.1. Comparación con los resultados del 1. <sup>er</sup> Plano Acústico de Madrid de 1986	208
7.4. LOS NIVELES ACÚSTICOS DE MADRID DURANTE EL PERIODO DIURNO	210
7.5. LOS NIVELES ACÚSTICOS DE MADRID DURANTE EL PERIODO NOCTURNO	218
7.6. ESTUDIO DE DETALLE DE LOS NIVELES ACÚSTICOS EN EL DISTRITO DE SALAMANCA Y ALREDEDORES	225
7.7. LOS NIVELES ACÚSTICAMENTE MÁS DESFAVORABLES SOPORTADOS EN MADRID	234
7.7.1. Situaciones acústicamente más desfavorables durante el periodo de 24 horas	235
7.7.2. Situaciones acústicamente más desfavorables durante el periodo diurno	237
7.7.3. Situaciones acústicamente más desfavorables durante el periodo nocturno	239
7.7.4. Balance conjunto de los periodos de 24 horas, diurno y nocturno	241
7.8. CUMPLIMIENTO DEL NIVEL ACÚSTICO PERMITIDO POR LA NORMATIVA EN MADRID	241
7.8.1. Cumplimiento del nivel acústico diurno permitido en zonas residenciales	241
7.8.2. Cumplimiento del nivel acústico nocturno permitido en zonas residenciales	249
<b>8. AFECCIÓN POTENCIAL DEL RUIDO EN LA POBLACIÓN Y EQUIPAMIENTOS SENSIBLES</b>	<b>255</b>
8.1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN	256
8.2. EL ENTORNO ACÚSTICO DE LOS HOSPITALES DE MADRID	259
8.2.1. Introducción y justificación	259
8.2.2. Objetivos específicos	260
8.2.3. Marco conceptual	262
8.2.3.1. Centros hospitalarios	262
8.2.3.2. Entorno acústico	264
8.2.4. Determinación del entorno acústico de los centros hospitalarios: propuestas metodológicas	265
8.2.4.1. Definición del modelo de datos y fuentes	265

8.2.4.2. Métodos para la determinación del entorno acústico e imputación de indicadores del Plano Acústico a los equipamientos	271
8.2.4.3. Análisis estadístico de la información del entorno acústico	275
8.2.5. Resultados	275
8.2.5.1. Distribución espacial de los hospitales y de los niveles sonoros ambientales: visualización de conjunto	275
8.2.5.2. Caracterización del entorno acústico de los hospitales de Madrid, basada en el dato sonoro más próximo (método 1)	280
8.2.5.3. Caracterización del entorno acústico de los hospitales de Madrid, basada en los datos sonoros dentro de un entorno próximo (método 2)	286
8.2.5.4. Análisis espacial del cumplimiento del nivel sonoro permitido en el entorno de los hospitales de Madrid (método 1)	291
8.2.5.5. Análisis espacial del cumplimiento del nivel sonoro permitido en el entorno de los hospitales de Madrid (método 2)	297
8.2.6. Conclusiones y perspectivas	301
8.3. EL MEDIO AMBIENTE SONORO DE LOS PARQUES Y ZONAS VERDES DE MADRID, Y EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN PRÓXIMA A ZONAS VERDES TRANQUILAS	304
8.3.1. Introducción y justificación	304
8.3.2. Objetivos específicos	308
8.3.3. Marco conceptual	310
8.3.3.1. Zonas verdes urbanas	310
8.3.3.2. Entorno acústico	310
8.3.3.3. Población accesible a zonas verdes tranquilas	311
8.3.4. Cuestiones metodológicas y procedimentales	312
8.3.4.1. Definición del modelo de datos y fuentes	313
8.3.4.2. Método para la determinación del ambiente acústico de las zonas verdes	320
8.3.4.3. Métodos para la evaluación de la población próxima a zonas verdes tranquilas	322
8.3.4.4. Análisis estadístico de la información del entorno acústico	329
8.3.5. Resultados	329
8.3.5.1. Caracterización del ambiente acústico de las zonas verdes de Madrid	329
8.3.5.2. Caracterización del ambiente sonoro interno en parques: análisis de casos	337
8.3.5.3. Caracterización y evaluación de la población próxima a zonas verdes tranquilas	353
8.3.6. Conclusiones y perspectivas	360
<b>9. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS</b>	<b>365</b>
9.1. BALANCE DE HALLAZGOS Y LOGROS	366
9.2. CONCLUSIONES GENERALES	370
9.3. DESARROLLO Y PERSPECTIVAS DE FUTURO	373

**10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS** **379**

**11. ANEXOS** **391**

ANEXO 1. Anexo IV de la <i>Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental</i>	392
ANEXO 2. Numeración oficial de identificadores de los cuadrados de dimensión 200 x 200 m del Plano Acústico de Madrid de 2002	393
ANEXO 3. Tabla resumen de estadísticos de centralidad de los datos de niveles sonoros del Plano Acústico de Madrid de 2002	394
ANEXO 4. Relación de publicaciones a que ha dado lugar esta investigación	395



## **AGRADECIMIENTOS**

Estas páginas guardan un trozo de mi vida. La realización de este trabajo ha supuesto recorrer un largo camino en el que, por suerte, he encontrado a muchas personas que de una manera u otra han contribuido a alcanzar esta meta, y con quienes deseo compartir este logro.

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Antonio Moreno Jiménez, por un lado como Director de Tesis, por transmitirme su vocacional pasión por indagar en los campos de la Ciencia, su extraordinaria calidad como docente, su constante atención, dedicación y entrega, orientación y apoyo, impulsándome siempre a seguir hacia adelante. Y además como persona, por su generosidad, comprensión y entusiasmo. También a Chelo, que siempre me ha animado con una estupenda sonrisa y alegría.

Quiero además agradecer a Pablo Mateos y a Brenda Valdés la magnífica acogida que me brindaron durante mi estancia en Londres, consiguiendo que fuese si cabe más provechosa en lo académico y en lo personal. Por otro lado, deseo expresar mi reconocimiento a Plácido Perera, exjefe del Departamento de Control Acústico del Ayuntamiento de Madrid, por creer en la lucha contra el ruido, junto a Marina Sanz, por su colaboración, así como a Celia Chicharro, recolectora de ruidos por el campus de la UAM.

Pretendo igualmente mostrar mi gratitud a las instituciones que, a través de becas y ayudas, han apoyado y hecho posible esta investigación: la Universidad Autónoma de Madrid y el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España. Asimismo, al personal docente y administrativo del Departamento de Geografía de la UAM, en especial a Pilar González y a los profesores que acogieron mi llegada allí y que se han interesado por los progresos de este trabajo durante todo este tiempo. Tampoco quiero olvidarme de todos aquellos otros profesores que a lo largo de mi vida académica despertaron en mí el interés por “las cosas” y la inquietud por “saber”, a lo largo del camino desde el colegio hasta la universidad.

Parte de esta tesis va dedicada a los tiempos del Laboratorio de Geografía Aplicada, espacio vital y de aprendizaje donde los “Mesafeos” convivimos y compartimos aventuras académicas, que se transformaron en profundas amistades con las que me siento orgulloso de contar hoy día. Muchísimas gracias Marta, Carlos, Maru, Edu, Miguel, Graciela, Joana, Jaime, Juan, Raúl, Fernando y Roberto, a todos y cada uno de vosotros, por vuestro afecto, consejos, ayuda, buen humor..., por tanto y tan bueno.

Quiero también agradecer a todos mis amigos y especialmente a “los de siempre” que, ya sea desde Madrid, Valencia o Granada, me han acompañado, comprendido y

animado durante todo este periodo tan importante de mi vida, hasta el momento de conseguir este objetivo.

Deseo agradecer desde lo más profundo de mi corazón a Marina Carretero, sencillamente por darlo todo y más. Por lo mucho que me ha ayudado, su comprensión y reconfortante ánimo, y por toda la luz que había tras la columna.

Dedico muy especialmente este trabajo, cuyas páginas contienen tantas horas de mi vida, a mis padres, Paco y Laura, por creer en mí cada día igual que siempre o más, por cuidarme en los momentos fáciles y en los difíciles, y por su apoyo incondicional que me ha llegado de todas las maneras posibles. Y a mi hermana, Blanca, por estar igualmente tan cerca. A ellos, mis eternas gracias y cariño.

## PRESENTACIÓN

La presente memoria tiene como propósito exponer una investigación original destinada a optar al título de Doctor en Geografía por la Universidad Autónoma de Madrid (España) por parte del doctorando D. Pedro Martínez Suárez, realizada bajo la dirección del Dr. Antonio Moreno Jiménez, Catedrático de Geografía Humana de la citada universidad.

Esta investigación se enmarca dentro del **Programa de Doctorado en Territorio, medio ambiente y sociedad del Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM)**. Dicho Programa ha sido reconocido con la concesión de **Mención de Calidad** durante varios cursos académicos por la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España, distinción que supone un aval de su solvencia científico-técnica y formadora. Este Programa de Doctorado responde a una demanda de formación académica de posgrado en análisis, planificación, gestión y ordenación del territorio, contemplando sus repercusiones sociales y ambientales, y esta investigación se relaciona directamente con dos de las grandes líneas del Programa: *Procesos y formas espaciales del medio urbano* y *Tecnologías de la información geográfica*.

La realización de esta investigación se ha llevado a cabo con el soporte de una **Beca de Posgrado del Programa Nacional de Formación de Profesorado Universitario (FPU)** (ref. AP2003-0688) del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España (en el marco del Plan Nacional de I+D+I), tras haber sido evaluada como “de interés en materia investigadora”. También ha contado con el apoyo de una **Beca de Estudios de Tercer Ciclo** del Vicerrectorado de Investigación de la UAM, así como de una **Ayuda para Estancia Breve en el Extranjero para Personal Docente e Investigador en Formación** de la UAM, en University College London (UCL) (Londres, Reino Unido). Asimismo, el doctorando ha sido **Personal Investigador en Formación (PIF)** del Departamento de Geografía de la UAM y ha colaborado en las **actividades docentes** y en diversos **proyectos de investigación** de dicho Departamento.

Las tareas de análisis recogidas en esta memoria comenzaron a realizarse en 2002 y en este dilatado pero a la vez laborioso periodo hasta la presentación de este informe, el candidato ha tenido la oportunidad de llevar a cabo una producción de materiales y referencias de alcance nacional e internacional (ver Anexo 4.) con los que ir difundiendo los resultados que se han ido obteniendo, a través de varias **publicaciones, ponencias y comunicaciones en congresos**, así como de simultanearla con varias **actividades profesionales** relacionadas con la temática de estudio, en el Departamento de Control Acústico del Área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Madrid y en el Servicio de Información Ambiental del Área de Información y Documentación Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid. Sin lugar a dudas, ello ha enriquecido notablemente las perspectivas y experiencia del autor.

Esta memoria pretende dejar constancia y ser el reflejo de toda esta experiencia investigadora, con el ánimo de aportar una contribución al avance del conocimiento científico y de quedar disponible para cualquier persona interesada en su consulta.



La inteligencia del hombre está en razón inversa a la  
cantidad de ruidos inútiles que es capaz de soportar.

(Arthur Schopenhauer)



## RESUMEN

La calidad ambiental del medio urbano depende de muchos y diversos factores que influyen en la confortabilidad y salud de las personas y, por tanto, sobre su bienestar/malestar y calidad de vida. Entre ellos destaca el ruido urbano, hasta el punto de constituirse como un problema que afecta a la salud física y psicológica de los ciudadanos y que ha generado en los últimos tiempos una creciente sensibilidad social y preocupación, reflejadas en un notorio desarrollo normativo, hechos que ponen de manifiesto la necesidad de dedicar esfuerzos a entender y contener este contaminante, así como a estudiar su incidencia sobre la población.

La interacción ruido-sociedad se presenta como un campo casi inexplorado desde el punto de vista de la indagación geográfico-ambiental y esta tesis pretende realizar una contribución significativa a la misma, siguiendo un proceso investigador ajustado a lo que ha venido en llamarse "tecnociencia". A través de las potencialidades que ofrecen las tecnologías de la información geográfica y apoyándose en la información contenida en los planos acústicos digitales, este trabajo trata de ofrecer así una aproximación metodológica novedosa al estudio del ambiente sonoro urbano, seleccionando para ello la ciudad de Madrid, si bien su aplicación puede resultar válida para otras ciudades.

Primeramente, el trabajo se dirige hacia el **diagnóstico** del ambiente acústico exterior y al estudio de su patrón espacio-temporal, estudiando la distribución de los niveles sonoros de los periodos 24 h, diurno y nocturno en Madrid y su valoración.

A continuación, se analiza la **calidad** del entorno acústico de determinados equipamientos urbanos especialmente sensibles al ruido como son los hospitales, los parques y las zonas verdes, valorando su adecuación a las funciones que les son propias.

Para estos fines, se discute en primer lugar la conformación de un modelo de geodatos adecuado para abordar tales cuestiones y luego se formula y aplica, con el soporte de los SIG y técnicas estadísticas, una metodología de análisis espacial idónea para la caracterización del ambiente acústico, configurando un planteamiento efectivo para el diagnóstico de situaciones ambientales y la evaluación de su calidad, encaminada al apoyo de la gestión ambiental municipal y al progreso hacia unas ciudades más saludables y sostenibles.



## **1. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES**

## **1.1. OBJETO DE ESTUDIO**

La creciente urbanización mundial, el abandono del campo en busca de mejoras profesionales, la concentración de la población en el espacio y las condiciones ambientales cada vez más degradadas de las ciudades generan una serie de problemas que afectan a la calidad de vida de los ciudadanos. El medio urbano corresponde al ámbito en el cual se desenvuelve la vida de la mayor parte de la población europea, y la calidad ambiental del mismo está supeditada a un gran número de factores que forman parte del conjunto de intereses que movilizan a nuestras ciudades, y que inciden sobre la confortabilidad y salud de las personas, en definitiva, sobre su bienestar/malestar. Entre ellos, uno de los que ha adquirido una relevancia indiscutible es el ruido ambiental (Muscar Benasayag, 2000; García Sanz y Javier Garrido, 2003), que se ha convertido en un rasgo de la sociedad actual y conforma un problema serio por las molestias que ocasiona y por sus efectos sobre la salud física y psicológica.

La contaminación acústica, originada fundamentalmente por el tráfico rodado, seguido de las actividades de pública concurrencia, de ocio y funcionamiento nocturno, se ha ido configurando sin duda como uno de los problemas que hoy en día padece, sobre todo, la sociedad urbana (Pérez Martos, 2003), en cuyo esquema de valores ya nadie en nuestro entorno renuncia a aspirar a un medio vital de calidad, por lo que cada vez es mayor motivo de preocupación tanto en su vertiente sanitaria y social, como ambiental. La multiexposición diaria (Sanz Sa, 1987) de las personas al ruido condiciona sus mecanismos de afección, pudiendo convertirse en un problema para su salud y afectar al descanso, la concentración, el comportamiento y las actividades de las personas, producir estrés, insomnio, afecciones cardiovasculares y un largo etcétera.

La Unión Europea tomó conciencia de esta situación, y ya en el *Informe Dobrás sobre el medio ambiente en Europa* (Agencia Europea del Medio Ambiente, 1998) le dedicó una parte del Capítulo 16 al problema del ruido. Pero fue en el *Libro Verde de la Comisión Europea sobre política futura de lucha contra el ruido* (1996 b) donde se hacía un claro pronunciamiento sobre la necesidad de aclarar y homogeneizar el marco normativo del ruido (Bento Coelho, 1997), reconociendo que, con anterioridad, la escasa prioridad dada a este problema se debía en parte al hecho de que es fundamentalmente un problema local que adopta formas muy variadas en cuanto a su aceptación. Es de destacar asimismo la *Campaña de Ciudades Europeas Sostenibles* de la Comisión Europea que, en línea con el marco de la sostenibilidad definido en la *Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro* (1992), hace referencia expresa al ruido. La Organización Mundial de la Salud, por su parte, también ha emitido referencias importantes estableciendo una serie de recomendaciones, como las recogidas en *Guidelines for Community Noise* (1999), llegando incluso a definir los límites sonoros aceptables para la población.

El progresivo protagonismo que está adquiriendo el problema del ruido ambiental se va haciendo patente a través de muchas y variadas manifestaciones, tales como su frecuente presencia en los medios de comunicación, el surgimiento de grupos sociales de interés en Internet como [www.ruidos.org](http://www.ruidos.org) (España), [www.nonoise.org](http://www.nonoise.org) (EE. UU.) o [www.bruit.fr](http://www.bruit.fr) (Francia), la creación de asociaciones y plataformas como AECOR (Asociación Española para la Calidad Acústica) o PEACRAM (Plataforma Estatal Contra el Ruido y las Actividades Molestas), la institucionalización del Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido (impulsado por la estadounidense *League for the Hard of Hearing*, [www.lhh.org](http://www.lhh.org)), así como las crecientes aportaciones en congresos (como el *Congreso Nacional de Acústica - TecniAcústica*) y foros científico-profesionales, nacionales e internacionales, artículos en revistas científicas (e. g. *Applied Acoustics* o *Journal of the Acoustic Society of America*), jornadas, encuentros, reuniones, etc.

También los juristas se han incorporado al cuerpo de agentes interesados en su estudio (Juristas Contra el Ruido), consensuando que afecta a algunos compromisos constitucionales. Otra muestra de la significativa huella de los problemas del ruido ambiental en España es la reflejada en los informes del Defensor del Pueblo (Martín-Retortillo Baquer, 1995).

Junto a la existencia de un mayor grado de sensibilidad social ambiental, la preocupación que suscita este problema es también creciente, siendo prueba de ello que gran parte de las denuncias y quejas ciudadanas en materia ambiental planteadas ante las autoridades están relacionadas con este molesto problema. Su importancia se ha visto manifestada a través de un número cada vez mayor de protestas individuales, vecinales y de otros colectivos, y confirmada por estudios de diferentes instituciones y organismos, entre ellos el Instituto de Acústica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, ahondando en su influencia sobre la salud, el bienestar e incluso la productividad de las personas. Como confirmación de su gravedad a escala local, el responsable de la Unidad de Niveles Sonoros del Ayuntamiento de Madrid (Perera Melero, s. f. b) afirmó que hacia el año 2000 “más del 50% de las denuncias sobre temas medioambientales que recibe el Ayuntamiento de Madrid tienen como causa las molestias por contaminación acústica”.

Otro reflejo de su calado social es el surgimiento de numerosos portales no oficiales en Internet donde se ofrece información a los ciudadanos en cuanto a las pautas y recomendaciones a seguir para afrontar un problema por ruido: procedimientos y trámites para formalizar quejas, reclamaciones o denuncias, y los canales a los que se puede acudir para su gestión. A la vez, también cabe señalar la proliferación de servicios jurídicos especializados en dar servicio a los perjudicados ante este tipo de conflictos, así como empresas que ofrecen peritaciones acústicas a particulares, estudios de ruido, o instalación de equipamientos y materiales para reducir o evitar el problema del ruido en el interior de las viviendas. En este sentido, y trasladando esta cuestión a la Administración pública, el propio Ayuntamiento de Madrid facilita al ciudadano, a través de Internet, el acceso a las

correspondientes vías formales para hacer llegar denuncias tanto por ruidos exteriores como interiores.

No ha sido hasta fechas recientes cuando se ha insertado seriamente en la agenda de organismos públicos y de ciertas organizaciones el abordaje de este “problema”, que aqueja sobre todo a los ámbitos urbanos y que deriva de las propias actividades humanas. En nuestro país, el ruido ambiental no circunscrito a ámbitos específicos como el laboral, sino en cuanto a inmisión sonora presente en el hábitat humano, no había sido tradicionalmente objeto preferente de atención en la normativa protectora del medio ambiente, pero la creciente preocupación de una sociedad cada vez más permeable a conceptos y valores como los de sostenibilidad y calidad ambiental han impulsado la toma de responsabilidad y puesta en acción de las instituciones. Tales hechos han ido motivando la consideración del ruido ambiental en los diferentes niveles de la Administración Pública que, paulatinamente, se van dotando de instrumentos técnicos y normativos orientados a conocer, medir y controlar el ruido urbano.

La conciencia adoptada por la Unión Europea hizo surgir la Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, constituyendo el primer gran referente normativo, cuya transposición al ordenamiento nacional se materializó en la Ley 37/2003, del Ruido. Esta Ley supone una oportunidad para dotar a nuestro país de un ordenamiento del nivel apropiado para abordar los problemas del ruido urbano, propiciando la armonía entre las iniciativas de regulación de las Comunidades Autónomas y los entes locales. La acción de la Administración madrileña se situó en una posición puntera desde antaño, aprobando ordenanzas específicas antes incluso de que existieran las mencionadas normativas europea y estatal, acompañadas de iniciativas municipales como la creación de Redes de Vigilancia e Información, Planes Estratégicos para la Reducción de la Contaminación Acústica, Programas de Apantallamiento, Libros Blancos o Campañas de Concienciación.

Gran cantidad de las líneas de trabajo seguidas para el estudio de este problema han sido referidas casi sólo a su vertiente espacial, especialmente las relativas a la construcción de infraestructuras como carreteras, líneas férreas, aeropuertos, etc., a través de las obligadas evaluaciones de impacto ambiental que se les exige. Recientemente y, con la Ley del Ruido como mediadora, la consideración del problema de la contaminación acústica se aborda en un sentido más amplio e integral, debiendo contar con herramientas novedosas, y a las que se presta especial importancia en este estudio, como son los mapas de ruido, que permiten un diagnóstico de la situación acústica de la ciudad, con métodos de evaluación comunes a los Estados miembros de la UE para determinar la exposición de la población al ruido ambiental, así como poner a libre disposición de los ciudadanos la información sobre éste y sus efectos. Por su parte, los Planes Generales de Ordenación Urbana ya incluyen criterios acústicos para el diseño de nuevos espacios urbanos, y la construcción ya debe prestar especial atención a las condiciones acústicas de los edificios, según indica el Código Técnico de la Edificación.



A pesar de los esfuerzos realizados, los datos que se manejan comúnmente apuntan a que España es uno de los países europeos que soporta mayores niveles de ruido urbano y, en concreto, la Administración municipal madrileña asume que sufre serios problemas de contaminación acústica. La ciudad de Madrid es hoy una urbe vibrante, multicultural y diversa. Sus calles se muestran repletas de actividad, movimiento, tráfico, frenesí, cruces de personas, voces, prisa... Pero esta vital marea sonora que forma parte de la palpitante vida madrileña también llega a convertirse en una de sus debilidades, en un detractor, en un malestar, en definitiva en un problema para las personas y una carga para los decisores. Pocos son los rincones donde el ciudadano o turista puede encontrar refugio tranquilo y sosegado, a salvo de los coches o de la corriente humana. ¿De qué manera, partiendo de estas impresiones, se puede aportar conocimiento científico sobre este difícil problema, su naturaleza y dimensión, en Madrid?

La complejidad de la medición de los niveles de ruido a efectos de su diagnóstico y seguimiento ha requerido de un esfuerzo económico y técnico elevado, habiéndose elaborado varios planos acústicos en la capital con la intención de caracterizar el ambiente acústico de la ciudad. A partir de ellos, se pueden identificar zonas concretas donde no se cumplan los objetivos de calidad acústica adecuados, y diseñar planes de acción para reducir los niveles sonoros ambientales hasta alcanzar los límites conformes con la normativa. Sobre esta base, el foco de esta investigación sobre el ruido urbano en Madrid (y un conjunto de subproblemas concretos en torno a aquél), pretende realizar una aportación sobre el estudio del ambiente acústico de la ciudad, la evaluación de su calidad acústico-ambiental y su afección potencial sobre la población.

Esta línea trazada tiene una prolongación lógica hasta ahora poco desarrollada, que constituye el núcleo de este proyecto: medidos los niveles de ruido que se dan en cada zona de la ciudad, ¿cómo se distribuyen en el espacio urbano?, ¿cómo cambian en el tiempo?, ¿son adecuados para el desarrollo de las funciones de cada entorno? ¿dónde, cuándo y en qué magnitud?, ¿cómo poder evaluar o estimar el impacto del ruido ambiental en un lugar y momento concretos, esto es, en unas coordenadas espacio-temporales definidas? Estas preguntas carecen de una respuesta con un cierto grado de exactitud y conforman el reto de la investigación en la que este trabajo se inscribe.

En definitiva, este estudio intenta aportar nuevas capacidades para el diagnóstico y, por ende, para afrontar ciertos problemas urbanos, facilitando la adopción de medidas de mantenimiento o correctoras, adecuadas para lograr unas ciudades más habitables y sostenibles, que contribuyan a la mejora de la calidad de vida de las personas. De este modo, los objetivos planteados en esta investigación se ven motivados y respaldados por una serie de necesidades de bienestar social detectadas. Las preocupaciones colectivas relacionadas con el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente, recogidas por las instancias políticas y proyectadas en un corpus normativo, avalan la relevancia de una línea de investigación a la que este trabajo pretende contribuir de forma sustantiva.

## **1.2. ¿POR QUÉ EL RUIDO? ANTECEDENTES DE SU ESTUDIO GEOGRÁFICO-AMBIENTAL**

A la vista de lo expuesto hasta aquí, parece evidente que la problemática del ruido está logrando un interés y relevancia innegables. Sin embargo, a pesar de que ésta posee una incuestionable dimensión espacial y está directamente relacionada con la gestión territorial, la Geografía ha aportado relativamente poco a este campo de estudio. En determinadas ciencias como la Medicina, la Psicología, la Arquitectura, las Ingenierías o la misma Física acústica, su abordaje emergió hace un tiempo por razones de investigación fundamental y aplicada; sin embargo en otras, como la Geografía, la Sociología, la Economía o el Derecho, los estudios sobre el ruido se han caracterizado por su postergación hasta fechas recientes.

Según Moreno Jiménez (2004), el escaso tratamiento del ruido como problema geográfico parece ser común en bastantes países, de manera que en el nuestro su tratamiento ha aparecido en contados manuales (*vid.* Mulero Mendigorri, 1999). Aunque existen algunos antecedentes puntuales, como el capítulo sobre el ruido urbano de Stevenson (1972) contenido en un manual sobre urbanización y medio ambiente, o el artículo de Barceló Pons (1975), el geógrafo francés Roulier (1999) asevera que “el espacio sonoro raramente ha llegado a despertar el interés de los geógrafos” y afirma que “el sentido de la vista ha sabido siempre imponer su tiranía en nuestra ‘aprehensión’ del mundo”. Ciertamente, la presencia de sonido o inmisión sonora en el entorno es, además de un fenómeno físico, un fenómeno perceptivo, desde el momento en que los individuos presentes lo sienten. Sin embargo, se sabe bien que el oído y otros sentidos se encuentran relegados a un segundo plano con la clara hegemonía de la visión, dentro de lo que son los mecanismos de la percepción humana.

Las razones de la poca atención que le han prestado los geógrafos a la contaminación acústica parece obedecer a diversas cuestiones, como la escasez de datos disponibles, la menor gravedad que antaño tenían los problemas de ruido, la mayor dificultad para tratar un fenómeno que tiene ciertas singularidades físicas, la inercia de las líneas y tradiciones de investigación, etc.

Por su parte, Roulier (1999) distingue varias potenciales aproximaciones geográficas al tema:

- Geografía del ruido, que se interesa por los contextos y efectos de las molestias sonoras, centrándose en los conflictos administrativos, la emersión de la molestia y los retos (reacciones frente al ruido).
- Geografía de los sonidos, centrada en la interpretación de la sociedad sobre la propia producción del espacio sonoro y las representaciones sociales diferenciadas del mismo.

- Geografía de los medios sonoros, entendidos como “el conjunto de relaciones materiales y abstractas entre una sociedad de referencia y su entorno sonoro”. Con cierta similitud, algunos autores han adoptado el concepto de “paisaje sonoro”, como una transposición al campo auditivo del clásico “paisaje” centrado en el componente visual (e. g. Macher, 1979 y Moch, 1988).

En una línea recientemente abierta y más relacionada con la Geografía aplicada, han surgido algunos estudios geográficos interesados más por la valoración del ruido en sus impactos (Moreno Jiménez, 1999; Moreno y Hodgart, 2003), las posibles injusticias ambientales derivadas (Moreno Jiménez, 2004 y 2007 b) y las limitaciones que ocasiona para los desarrollos residenciales (Joerin *et al.* 2001). Es de destacar asimismo el polifacético trabajo realizado por Fernández Gutiérrez (2011) sobre la contaminación acústica en las ciudades andaluzas, región en la que también Morata Toledo y Fernández Gutiérrez (2013) hicieron una exploración acerca de cómo la toma de conciencia sobre el ruido ha sido recogida en los programas político-electorales. También pueden citarse las aportaciones de García Rodríguez (1994) o de López Barrio y Carles Arribas (1997) aplicadas al caso de Valencia.

En esta línea de la Geografía aplicada es en la que cabría situar el presente trabajo, el cual se centra en el diagnóstico del ambiente acústico urbano, su análisis espacio-temporal e impacto potencial del ruido sobre la población. Dejando a un lado las cuestiones concernientes a la generación del ambiente sonoro de la ciudad, *i. e.* las causas, que ya son objeto de estudio preferente por parte de otros especialistas, esta investigación se orienta hacia las consecuencias o derivaciones del mismo, con una finalidad utilitaria. Se pueden mencionar varias razones para justificar esta elección:

- La ciudad como aglomeración humana está sometida a un extenso abanico de problemas (López Trigal, 1990), cobrando los ambientales un singular protagonismo por su intensidad y alta cifra de ciudadanos afectables (Agencia Europea de Medio Ambiente, 1998).
- Existe una obligatoriedad normativa para disponer de una evaluación de los impactos generados por el ruido.
- Los métodos para evaluar el impacto se han revelado insuficientes, y al respecto hay un horizonte que explorar.
- Se trata de una faceta bastante menos investigada; muchos esfuerzos hasta ahora se han centrado en la obtención de datos físicos, que resulta costosa y de rigor mejorable, por lo que una contribución diferenciada desde el lado de la Geografía cobra así pleno sentido.

- Finalmente, dedicar esfuerzos desde la Geografía en esa dirección, realizando contribuciones de interés, podría suponer un reconocimiento ante la comunidad científica, la sociedad y las instituciones públicas.

La relevancia del trabajo propuesto reside, por un lado, en su interés como contribución de conocimiento geoambiental, en lo teórico (por situar el tema dentro de un marco conceptual relevante y apropiado), en lo metodológico (por tratar de diseñar y aplicar un procedimiento novedoso, capaz de integrar datos, técnicas y tecnologías de forma rigurosa), y en lo empírico (por perseguir examinar ciertas hipótesis concernientes a la relación hombre-medio sonoro en el caso de Madrid). Y por otro lado, desde el punto de vista aplicado, por su interés y utilidad para organismos e instituciones responsables de la evaluación y control del ruido ambiental urbano (por cuanto podrán conocer algo más de las implicaciones de dicho ruido sobre la población), la comunidad ciudadana (por poder disponer de un conocimiento capaz de permitirles juicios de valor mejor informados para sus decisiones personales y colectivas), y empresas varias (relacionadas con la valoración de viviendas en el sector inmobiliario, establecimientos generadores de ruidos, etc.).

En resumen, el trabajo se encuadra en una de las tradiciones de geográficas más genuinas: el estudio de la relación hombre-medio (Santos, 1995; García Ballesteros, 2000), conjugando la faceta ambiental con la socio-demográfica y abordando un problema concreto hasta ahora casi marginal en esta disciplina, pero que reviste potencialidades suficientes como para prestarle mayor atención. En tal sentido, resulta acorde con las propuestas expresadas en las líneas de desarrollo de la Geografía de la población, por apostar por el binomio población-medio ambiente con una visión integradora del componente físico y del humano, y de la Geodemografía aplicada (*vid.* Gozávez Pérez, 1992; García Ballesteros, 1994 y Burriel de Orueta, 2002). La apuesta por el empleo de las tecnologías de la información geográfica, dentro de lo que serían las técnicas cuantitativas en Geografía, intenta dar cuerpo metodológico al estudio de esta vertiente de la relación medio ambiente-sociedad, aquí considerada.

Por otra parte, la toma de conciencia sobre los problemas acústicos de nuestras ciudades y las normativas recientemente aprobadas han suscitado la necesidad de ampliar el conocimiento en la materia y de disponer de instrumentos y métodos capaces de evaluar de modo efectivo el impacto del ruido ambiental. Con este trabajo se pretende proponer una metodología que permita avanzar y verificar el cumplimiento de la normativa europea sobre ruido urbano, dentro del marco del llamado desarrollo sostenible. Al mismo tiempo, se espera que los hallazgos sean también relevantes en los ámbitos del planeamiento urbanístico y la ordenación territorial, que deben tener en cuenta los impactos del ruido.

Estas cuestiones planteadas apuntan hacia unos objetivos concretos y requieren una metodología nueva. Así, esta investigación sigue las líneas prioritarias del Plan Nacional de I+D+I, dentro de las áreas sectoriales en él contempladas, con la finalidad de ser un estudio generador de conocimiento, motivado y orientado por una demanda social, ajustado también

al interés de la Comunidad de Madrid en materia investigadora, según las líneas prioritarias de la *Ley 5/1998, de Fomento de la Investigación Científica y la Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid* y del *Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica (PRICIT)*, tratando varias de las subáreas temáticas contempladas, tales como la evaluación del impacto ambiental, los aspectos socioeconómicos de la gestión ambiental y la corrección ambiental.

### **1.3. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente memoria refleja el desarrollo y resultados de la investigación llevada a cabo, cuyo eje vertebral se detalla a continuación.

Comienza por un capítulo introductorio que versa sobre el objeto de estudio, su importancia y dimensión, así como la necesidad de su examen y tratamiento, justificando su elección.

Por su escasa presencia en los estudios geográfico-ambientales, singularmente en España, el capítulo 2 trata de plantear un cuadro conceptual apropiado para inscribir el trabajo empírico, sintetizando los principales conceptos del fenómeno físico del sonido, sus rasgos, medición, etc., como base de conocimiento imprescindible para sustentar los posteriores contenidos de la investigación. Con ello se esclarecen las variables acústicas significativas para los análisis del ambiente urbano. Después, se establecen las premisas para comprender la dimensión contaminante del ruido y las plurales facetas en las que sus efectos negativos se muestran.

Habiendo puesto de manifiesto la multiplicidad de líneas en las que la interacción ruido-sociedad se despliega, toma cuerpo la diversidad de frentes potenciales para la indagación. Antes de adentrarnos en el abordaje de algunos de ellos en este trabajo, resulta pertinente dedicar cierta atención a dos asuntos de indudable relevancia: por un lado, a las causas del ruido urbano que han desencadenado esa degradación ambiental tal como hoy la vivimos (capítulo 3), y por otro, a la normativa cada vez más aquilatada del mismo, que instituciones públicas y organizaciones internacionales han formulado para gestionar y paliar el problema (capítulo 4), de manera que los hallazgos aquí obtenibles puedan ser adecuadamente interpretables en su contexto.

Con todo lo anterior, se formulan las hipótesis y se concretan los objetivos propuestos y metas a alcanzar, recogidos en el capítulo 5, justificando después en el capítulo 6 la idoneidad del ámbito de estudio a partir de criterios de carácter geográfico. Seguidamente se realiza la presentación y examen valorativo de la fuente fundamental de datos utilizada: el Plano Acústico de Madrid, así como de las otras fuentes de información, y se precisan las cuestiones metodológicas y procedimentales que dan cuerpo a la investigación. Se presta especial atención a la explotación de la información contenida en el

Plano Acústico de Madrid como fuente de datos, así como a los laboriosos procedimientos hasta conseguir su rediseño e integración en un entorno de SIG utilizable para los fines de este estudio y compatible para su futuro uso en posteriores investigaciones de tipo geográfico-ambiental, lo cual podría considerarse como el primero de los logros obtenidos.

A partir de aquí, los análisis y resultados alcanzados se presentan divididos en dos grandes bloques, acordes con una línea argumental coherente. En primer lugar se realiza un diagnóstico del ambiente sonoro de la ciudad de Madrid (capítulo 7) a través del estudio y caracterización de su patrón espacio-temporal, valorando la adecuación del entorno acústico de la ciudad a las personas y actividades que en ella conviven y analizando el cumplimiento de la normativa. En segundo lugar, y profundizando en la dimensión del problema del ruido en Madrid, se estudia en el capítulo 8 la calidad del medio ambiente sonoro de ciertos equipamientos urbanos especialmente sensibles al ruido como son los hospitales, parques y zonas verdes, valorando su adecuación al uso al que están destinados. A lo largo de estos capítulos y sus apartados se va realizando la discusión de los resultados alcanzados y recogiendo las conclusiones emanadas.

Por último, el trabajo finaliza presentando en el capítulo 9 las conclusiones del conjunto de la investigación, el balance de las contribuciones y hallazgos más relevantes obtenidos, valorando su alcance, y las perspectivas de continuidad que surgen en el horizonte, insistiendo en su interés científico y social.

## **2. MARCO CONCEPTUAL: EL SONIDO, EL RUIDO Y LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA**

Si bien esta investigación no versa sobre el campo de la física del sonido, sí emplea como fuentes datos indicadores sonoros, por lo que se dedica este capítulo a presentar una serie de nociones y conceptos básicos de acústica que pueden ayudar a la mejor comprensión de la naturaleza del sonido y su comportamiento y difusión espacio-temporal, como parte de la base teórico-conceptual de los análisis aquí realizados. También se abordan cuestiones terminológicas relativas a la contaminación acústica, cuyo comentario resulta imprescindible para la adecuada comprensión del problema estudiado y de los análisis posteriormente realizados desde una perspectiva geográfico-ambiental.

Cualquier persona conoce lo que es el ruido, en la medida en que lo ha percibido por sus sentidos en numerosas ocasiones de su vida, y lo ha asociado con unos niveles sonoros “altos” o “elevados”. Esta sencilla reflexión da pie a afirmar que los conceptos de “ruido” y “sonido” están estrechamente relacionados. En los siguientes apartados se trata de definirlos y caracterizarlos, con el fin de entender su significado y relación.

## **2.1. EL SONIDO**

### **2.1.1. Definición de sonido**

Comenzando por el sonido, hay que decir que existen multitud de definiciones del mismo. A continuación se presentan algunas de ellas:

- “Sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire; Fís.: vibración mecánica transmitida por un medio elástico” (RAE, s. f.).
- “Es un tipo de energía que se propaga en forma ondulatoria desde el foco sonoro hasta el receptor, con una velocidad constante y disminuyendo su intensidad con la distancia” (MOPU, 1983).
- “El sonido es un fenómeno físico consistente en una variación de presión producida por un elemento que vibra, la cual se transmite y propaga por ondas longitudinales y vibrátiles a través de cualquier medio (sólido, líquido o gaseoso)” (de la Iglesia Huerta, 1999).
- “Alteración en presión, carga, desplazamiento o velocidad de partículas, que se propaga en un medio elástico, o también la superposición de estas alteraciones. Sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos. (Fís.) Efecto de la propagación de las ondas producidas por cambios de densidad y presión en los medios materiales, y en especial el que es audible” (Recuero López, s. f.).



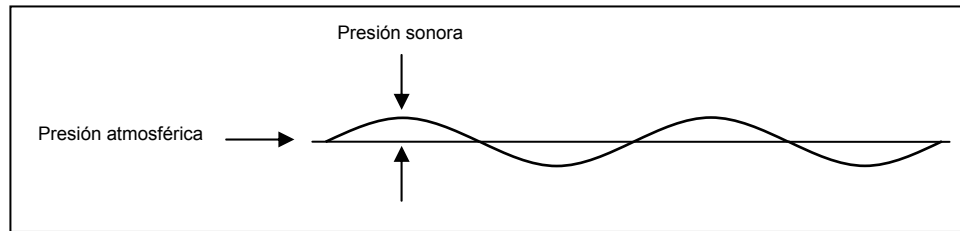
arte de la física que trata de la producción, control, transmisión, recepción y audición de los sonidos ( ). Es decir, ambos términos se refieren a la existencia de sonido en el ambiente. El sonido se puede considerar por una parte como fenómeno físico (relativo al campo de las Ciencias Físicas) y, por otra, como sensación auditiva percibida en un oyente a través de sus sentidos, provocada por dicho fenómeno físico (Sanz Sa, 1987).

Desde el punto de vista físico, el sonido es un fenómeno oscilatorio mecánico (a diferencia, por ejemplo, del electromagnetismo) consistente en una alteración mecánica o vibración que se propaga en forma de movimiento ondulatorio a través del aire u otros medios elásticos. El sonido tiene su origen en las oscilaciones o vibraciones mecánicas de la materia (sus partículas o moléculas), tanto en estado sólido como líquido o gaseoso, respecto de una posición de equilibrio o reposo, las cuales se transmiten al medio material que le rodea (partículas o moléculas vecinas), propagándose a través de él en forma de ondas longitudinales de presión sonora en todas las direcciones denominadas ondas sonoras. Para que exista sonido es necesario que exista dicho medio material elástico de propagación, ya sea sólido, líquido o gaseoso, de manera que en el vacío no se propagan las ondas sonoras (por ejemplo, en el espacio exterior, en ausencia de aire, no puede producirse). Al llegar éstas al oído, son capaces de provocar una **sensación auditiva**.

El proceso de generación de una onda sonora, por lo general, tiene su origen en un cuerpo sólido en vibración (e. g. tras haber sido golpeado) que arrastra las partículas de aire en contacto con el mismo, produciendo de forma alternativa compresiones y dilataciones que se traducen en depresiones y sobrepresiones respecto de la presión atmosférica (ver figura 2.1.), que se van transmitiendo a las capas de aire adyacentes, dando lugar a una onda de presión que se propaga con movimiento ondulatorio en todas las direcciones del espacio, alejándose del foco (Sanz Sa, 1987). Esta onda de presión es longitudinal (ver figura 2.2.), es decir, produce que las partículas del medio vibren alrededor de su posición de equilibrio en la misma dirección que la de propagación de la onda, en sentido de avance y retroceso alternativamente. Este tipo de ondas es el que suele darse en los fenómenos de propagación en los gases y excepcionalmente en los líquidos, mientras que en los sólidos se encuentran ambos tipos de propagación de ondas, longitudinal y transversal (en esta última la dirección de propagación es perpendicular a la dirección de desplazamiento de las partículas). Las ondas sonoras se atenúan con la distancia y pueden ser absorbidas o reflejadas por los obstáculos que encuentran a su paso.

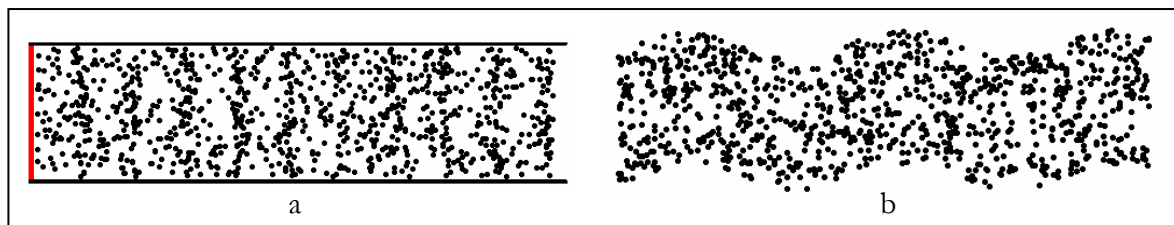
La existencia de un sonido implica a su vez, como es lógico, la de un elemento productor, denominado fente o foco (punto en el que se produce una perturbación que da lugar al mismo), un medio de transmisión y un sujeto receptor expuesto durante un determinado tiempo (que lo percibe a través de su aparato auditivo).

Figura 2.1. Esquema del fenómeno de generación de la onda de presión sonora.



*Fuente: elaboración propia a partir de Sanz Sa, 1987.*

Figura 2.2. Esquema del fenómeno de propagación de una onda de presión sonora de tipo longitudinal (a), (aquí representado en una única dirección del espacio, si bien hay que tener en cuenta que en la realidad se trata de ondas omnidireccionales, esféricas), a diferencia de otros tipos de ondas, transversales (b).



*Fuente: Russell, 2001.*

### **2.1.2. Características y propiedades físicas del sonido**<sup>1</sup>

Existe una serie de magnitudes o elementos que caracterizan físicamente al sonido, teniendo en cuenta su naturaleza de onda, que se describen a continuación:

- **Velocidad del sonido (C)**: es la velocidad con la que se propagan las ondas sonoras en un medio elástico. Dicha propagación no se produce por igual en todos los medios, depende de su masa, propiedades elásticas, inercia, así como de otras características mecánicas del mismo. También depende de la temperatura. En particular, en el caso del aire viene dada por la fórmula:

$$C = \sqrt{\frac{1,41 \cdot P_{\text{atm}}}{\rho}}$$

donde:

---

<sup>1</sup> El contenido de este apartado se basa en las obras de diferentes autores: Alonso García, 1995; Antón Barberá y Soler Tormo, 1996; Arenas Muñoz, 2000; de la Iglesia Huerta, 1999; Gómez-Villalba Ballesteros, 1996; Lamarque, 1975; MAGRAMA, 2015 b; Recuero López, s. f. y Sanz Sa, 1987.

1,41 = relación (o cociente) entre los calores específicos de los gases diatómicos a presión y volumen constantes,

$P_{\text{atm}}$  = presión atmosférica (Pascales),

$\rho$  = densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ ).

El valor de la velocidad con que se transmite el sonido en el aire, a una temperatura de 20 °C, es de 344 metros/segundo. Ésta varía cuando cambian las condiciones atmosféricas, de modo que, por ejemplo, a 0 °C es de 331,6 m/s. Se estima un incremento de 6 m/s cada 10 °C de aumento de la temperatura del aire. En el agua es mucho mayor (alrededor de 1.500 m/s), pero la mayor velocidad de propagación se da en los medios sólidos (en el acero es de 5.130 m/s, en el hierro de 5.365 m/s y en el vidrio de 6.000 m/s). Resulta bastante difícil que un objeto móvil viajando a través de un medio determinado alcance la velocidad del sonido; cuando ello sucede, se dice que su velocidad es de 1 Mach. El número Mach es la razón entre la velocidad del objeto y la del sonido en ese medio, y carece de unidades. Típicamente se usa para describir la velocidad de los aviones (subsónicos, transónicos, supersónicos e hipersónicos).

- **Amplitud**: es la elongación o distancia de separación de la partícula vibrátil del medio con respecto a su posición de equilibrio o reposo.
- **Periodo (T)**: se define como el tiempo que tarda en producirse un ciclo completo de oscilación (es decir una oscilación completa) de la onda sonora. Se mide en segundos.
- **Frecuencia (f)**: es el inverso de periodo, es decir, el número de oscilaciones, ondas o lo que es lo mismo, ciclos completos de oscilación, que suceden en una unidad de tiempo (segundo). Su unidad es el Hercio (Hz), que corresponde a 1 ciclo/segundo.

$$f = \frac{1}{T}$$

El oído humano sólo es capaz de captar un rango de frecuencias comprendidas entre 20 (ó 16, según algunos autores) y 20.000 Hz. Por debajo de 20 Hz se encuentran los denominados infrasonidos, y por encima de 20.000 los ultrasonidos. Si el ser humano pudiera oír por debajo de 20 Hz estaría percibiendo constantemente sonidos de fondo natural correspondientes incluso a la propia vibración de elementos materiales, lo cual resultaría bastante molesto. Para todo individuo hay una frecuencia límite superior cuyo valor se reduce con la edad, por encima de la cual no es capaz de oír.

Cada sonido está integrado por una onda con una frecuencia determinada. La frecuencia de una onda sonora es la misma que la frecuencia con la que emite la fuente que la ha producido. Cada sistema tiene una frecuencia característica de vibración denominada frecuencia fundamental, que sólo depende del tamaño, por lo que cuanto

mayor es el objeto menor será su frecuencia de vibración, más grave. Una onda sonora compuesta por una única frecuencia se denomina tono puro.

En la realidad sucede que las superficies no son infinitamente rígidas, y su flexión va a producir que aparezcan una serie de ondas adicionales con frecuencias superiores, denominadas armónicos, de manera que los sistemas vibran no solamente con su frecuencia fundamental (que es la frecuencia más baja o primer armónico), sino que en menor medida emiten con frecuencias que son múltiplos enteros de ésta, es decir, hacia el doble de la misma (segundo armónico), hacia el triple (tercer armónico), etc., que el oído humano también es capaz de percibir. Esta es la causa de que, por ejemplo, la nota musical “do” tocada en un violín suene diferente que en una viola; en ambos casos, al tratarse de la misma nota, la frecuencia fundamental debe ser la misma, pero el sonido emitido por cada instrumento se diferencia en los armónicos, cuyas amplitudes son distintas, provocando que la percepción sonora sea diferente.

En la práctica los sonidos suelen ser la combinación de varias frecuencias, en base a lo cual se clasifican como de banda ancha (con amplia escala de frecuencias) o de banda estrecha. Por otra parte, la frecuencia está muy relacionada con el tono, aunque no es exactamente lo mismo, como se verá más adelante.

- **Longitud de onda ( $\lambda$ )**: se define como la distancia que recorre un frente de onda en un periodo completo de oscilación, o lo que es lo mismo, la distancia perpendicular entre dos frentes de onda que tienen la misma fase. Se trata de la distancia que recorre la onda sonora en el tiempo de un periodo, es decir, un ciclo completo de oscilación. Se relaciona con la velocidad del sonido, periodo y frecuencia mediante las siguientes expresiones:

$$\lambda = C \cdot T = \frac{C}{f}$$

La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia, es decir, a mayor longitud de onda, la frecuencia del sonido será menor. En el Sistema Internacional sus unidades son los metros.

- **Tono**: sonido que da una sensación definida de frecuencia, comprendido dentro del margen audible en humanos (entre 20 y 20.000 Hz).
- **Altura tonal**: cualidad que depende de la frecuencia y expresa el valor de la misma. Permite distinguir los sonidos agudos (coloquialmente considerados como “altos”), de elevadas frecuencias y por tanto con menor longitud de onda, de los graves (considerados como “bajos”), de reducidas frecuencias y con mayor longitud de onda.
- **Timbre**: corresponde al espectro de la forma del tono, y es la cualidad del oído que permite distinguir entre dos sonidos del mismo tono y de igual intensidad, emitidos por

fuentes de distinta naturaleza. Hace referencia al contenido en armónicos que en un sonido complejo suelen acompañar a la frecuencia fundamental, y que viene a determinar el modo propio y característico de sonar. Permite distinguir, por ejemplo, para el caso de vibraciones del mismo tono, el distinto instrumento que las ha emitido.

- **Presión sonora (P)**: se define como la variación de la presión atmosférica en un punto, como consecuencia de la propagación a través del aire de una onda sonora. La variación de esta magnitud se cuantifica calculando su valor eficaz, que viene dado por la expresión:

$$P = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

Se mide en micropascales ( $\mu\text{Pa}$ ). El sonido más débil que puede detectar un oído humano sano tiene una amplitud de 20 millonésimas de Pascal, es decir, 0,0002 microbares (unas 5.000 millones de veces menor que la presión atmosférica normal). Para que un sonido sea audible, la variación de la presión sonora debe estar comprendida entre  $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$  y  $200 \mu\text{bar}$ , siendo estos valores los correspondientes a la menor presión sonora audible que un oído joven puede detectar en condiciones de audición ideales, correspondiente al valor de 0 decibelios (unidad que será explicada más adelante), y la máxima que el oído humano puede soportar sin que se produzca dolor.

- **Oscilación periódica**: la propagación de una onda sonora generalmente se asocia a una oscilación periódica, cuya forma más simple corresponde a un movimiento armónico simple. El sonido asociado a este tipo de oscilación recibe el nombre de tono puro, el cual depende únicamente de la presión sonora y de una única frecuencia. Si dos o más tonos de distinta presión sonora y frecuencia se suman, dan lugar a una onda suma de todos ellos, que variará en el tiempo de forma repetitiva (periódica) y que tiene la propiedad de poderse descomponer en una suma de tonos puros.
- **Potencia sonora (W)**: se define como la cantidad de energía emitida por una fuente sonora por unidad de tiempo, o bien la energía sonora que atraviesa una superficie perpendicularmente a la dirección de propagación, en una unidad de tiempo. Se expresa en vatios. En ocasiones se asocia al volumen de un sonido.
- **Intensidad sonora (I)**: se define como el valor medio de la energía sonora que atraviesa la unidad de superficie perpendicularmente a la dirección de propagación (es decir, la potencia sonora media transmitida), en una unidad de tiempo. En el caso de una onda sonora que se propaga por el aire en una dirección, su intensidad sonora en un punto viene dada por la expresión:

$$I = \frac{P^2}{\rho \cdot C}$$

donde:

I = intensidad sonora (w/m<sup>2</sup>),

P = presión sonora eficaz (Pa),

$\rho$  = densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>),

C = velocidad de propagación de la onda sonora (m/s).

Al producto de la densidad del medio propagador por la velocidad de propagación ( $\rho \cdot C$ ) se le denomina “impedancia acústica del medio”. La intensidad se expresa en w/m<sup>2</sup>.

Dado que en la realidad las ondas sonoras se propagan esféricamente, si se considera una esfera imaginaria de radio “r”, en cuyo centro hay una fuente sonora que emite en todas direcciones, de potencia “W”, la intensidad sonora en dirección radial sobre una unidad de superficie de la esfera vendrá dada por la expresión:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4 \pi r^2}$$

La intensidad se evalúa a modo de cambios en la presión sonora y potencia sonora, y se relaciona con la amplitud o la altura de la onda vibrátil (mayor o menor intensidad o sonoridad), distinguiendo entre sonidos débiles y fuertes.

En los sonidos altos la intensidad es mayor, al ser también mayor la presión, y en los bajos ocurre lo contrario. Comúnmente se la considera como el grado de energía de la onda sonora, es decir, corresponde a la energía transmitida al oído por la vibración aérea. La intensidad depende de factores variados, como la potencia de la fuente sonora, la dirección en la cual se propaga el sonido, la distancia existente entre la fuente productora de ruido y el aparato auditivo, etc.

A la hora de estudiar los fenómenos acústicos, en vez de utilizar las magnitudes de presión, potencia e intensidad sonora, lo más frecuente es emplear escalas logarítmicas para indicar los niveles sonoros. Ello es debido a los enormemente amplios rangos de presiones e intensidades sonoras con los que se trabaja (por ejemplo, el rango audible de intensidad varía desde 10<sup>-12</sup> a 10 w/m<sup>2</sup>). La ventaja de emplear una escala logarítmica es que se “comprimen” dichos rangos. Otra razón es que el oído humano, desde el punto de vista subjetivo, cuando percibe una perturbación sonora tiene una respuesta de tipo logarítmico y no lineal.

De este modo, el nivel es el logaritmo de la relación entre una magnitud determinada (presión, potencia o intensidad sonora), con relación a otra de referencia de

la misma clase. El término “nivel” (L) indica que se está empleando una escala logarítmica, y la unidad empleada para indicar dicho nivel es el decibelio (dB) (la palabra “nivel” debe incluirse siempre que se emplee la escala de decibelios).

$$\text{Nivel en dB} = 10 \log \left( \frac{\text{cantidad medida}}{\text{cantidad de referencia}} \right)^2$$

Para el caso del nivel de presión sonora ( $L_p$ ), se tiene:

$$L_p = 10 \log \left( \frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (\text{dB})$$

donde:

$P$  = presión sonora a una distancia determinada de la fuente ( $\mu\text{Pa}$ ),

$P_0$  = presión sonora de referencia ( $20 \mu\text{Pa}$ ).

La escala logarítmica en decibelios da una aproximación mucho mejor a la percepción humana de sonoridad relativa que la escala lineal ( $\text{Pa}$ ), porque el oído presenta un carácter más logarítmico que lineal, es decir, reacciona a un cambio logarítmico de nivel. Por ello, se adapta bastante bien a la audición humana, de manera que cambios en el nivel de presión sonora de unos 5 dB originan, aproximadamente, el mismo cambio en la sensación de audición, sea cual sea el nivel del que se parta, excepto cerca del umbral de audición. Sin embargo, un cambio en la presión sonora de unos 0,01 Pa sería equivalente a un cambio subjetivo muy grande a niveles bajos, mientras que apenas sería apreciable a niveles altos. En realidad, el decibelio corresponde a la menor variación de intensidad sonora perceptible por un oído humano normal.

La componente logarítmica de esta unidad se traduce en que un aumento geométrico en la presión del sonido se traduce en un aumento aritmético en el nivel de decibelios. De este modo, la variación de la sensación sonora no es proporcional a la variación del estímulo: a una presión sonora de  $20 \mu\text{Pa}$  (que es la de referencia) le corresponde un nivel de presión sonora de 0 dB, mientras que a un valor de  $40 \mu\text{Pa}$  el valor del nivel correspondiente es de 6 dB. Al doble de cualquier valor de presión sonora le corresponde en el nivel sonoro un incremento de 6 dB.

El nivel auditivo, para una frecuencia determinada, es el número de dB que el umbral de un oído supera al nivel cero de referencia de un audiómetro normalizado. Está comprendido entre 0 y 120 dB: como el oído humano no es capaz de percibir frecuencias fuera del rango de 20 a 20.000 Hz, en cuanto a intensidades audibles, se trataría de las comprendidas entre los 0 y 120 dB (entre  $10^{-12}$  y  $10 \text{ W/m}^2$ ).

- **Duración**: es el tiempo durante el cual se manifiesta un sonido.

- **Resonancia:** un cuerpo sometido a vibraciones se dice que está en resonancia el tiempo que está vibrando mientras recupera su reposo inicial.
- **Sonoridad:** si la intensidad sonora es la cualidad que se quiere expresar cuando se dice que un sonido es más fuerte o más débil que otro, su traducción en el sentido de la audición es lo que se conoce como sonoridad, es decir, la sensación auditiva mediante la cual los sonidos pueden ordenarse en una escala de mayor a menor. Las vibraciones sonoras transmitidas a través del aire son recibidas por el órgano del oído e interpretadas como sonido por el sistema sensorial humano, en el proceso de percepción. Desde el punto de vista físico, el sonido existe, aún cuando no haya un sujeto receptor que lo perciba, en cambio, la percepción de un sonido como sensación auditiva sí exige la presencia de un receptor. La magnitud percibida del sonido se denomina sonoridad, que se define como una caracterización subjetiva del sonido que representa la sensación sonora producida por el mismo a un oyente. Depende fundamentalmente de la intensidad y la frecuencia del sonido, por lo que se puede calcular a partir de mediciones físicas por diversos procedimientos (Sanz Sa, 1987).

Dado que la sonoridad hace referencia a la sensibilidad del oído a los sonidos, es decir, a la sensación sonora, por ejemplo, un sonido con una frecuencia de 1.000 Hz y una determinada intensidad es escuchado con un nivel sonoro más alto que otro también a 1.000 Hz pero de menor intensidad. A su vez, un sonido de 1.000 Hz y una determinada intensidad no se oye igual que otro de 100 Hz, aunque su intensidad sea la misma. De igual modo, aunque dos sonidos diferentes tengan igual nivel de presión, el primero puede juzgarse como más bajo que el segundo si su potencia se concentra en un rango de frecuencias más sensible para el oído. Ello se debe a que el oído humano presenta una mayor sensibilidad a unas frecuencias que a otras, siendo mayor para el rango comprendido entre aproximadamente los 1.000 y los 6.000 Hz. El oído no juzga con igual sonoridad un sonido grave (como el generado por un compresor) que uno agudo (como el escape de aire a presión, por ejemplo), filtrando las frecuencias de cada uno.

Para comparar mejor el sonido que se quiere medir con la sensación sonora que se percibe, es necesario simular en los aparatos de medida el tipo de filtro que tiene el oído, mediante las llamadas redes de compensación. Con ello, se tiene en cuenta el diferente comportamiento humano a un sonido o ruido en función de su espectro de frecuencias, a través de las denominadas curvas estándar de ponderación, que actúan como filtros selectivos cuya sensibilidad con la frecuencia y la intensidad es análoga a la de oído, de forma que en la respuesta discriminan el peso relativo de cada frecuencia en el conjunto del espectro existente.

De entre los tres tipos de curvas de ponderación conocidas, A, B y C, la primera, también denominada “red A”, es la más ampliamente usada para la medida del ruido, debido a que su respuesta a las distintas frecuencias es la que mejor se correlaciona con



la forma de percibir el sonido por el oído humano, compensando más eficazmente las diferencias de sensibilidad y respuesta que el oído humano tiene para las distintas frecuencias dentro del rango auditivo. Muestra una mejor correlación con las sensaciones subjetivas generadas por sonidos y ruidos originados por el tráfico e industriales, al atenuar o reducir progresivamente las frecuencias bajas del ruido (inferiores a 1.000 Hz) y mantener las medias y altas. Así, para expresar la intensidad subjetiva del ruido para el oído humano se utiliza el nivel de presión sonora ponderado "A", casi universalmente adoptado para la medición del ruido. Los valores medidos son expresados en dBA o dB(A). Al utilizar esta red A, en vez de hablar de nivel de presión sonora (dB), se utiliza simplemente el nivel sonoro (dBA).

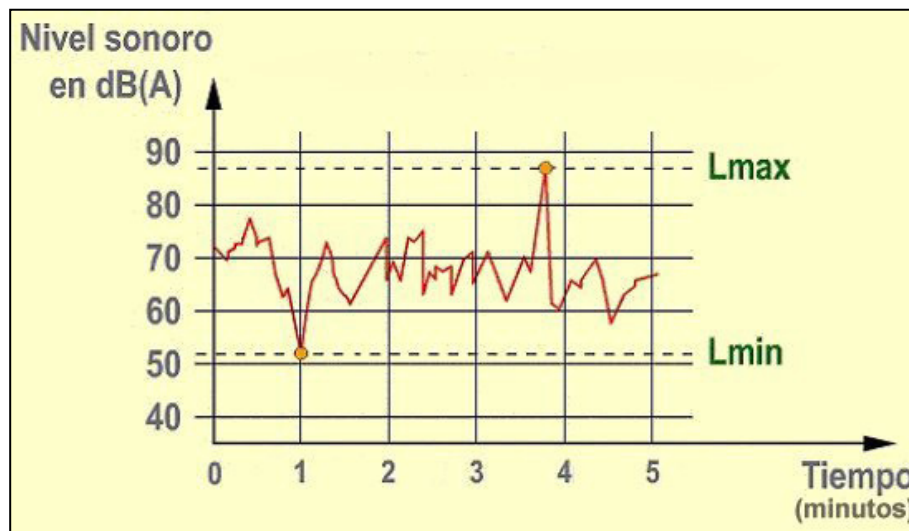
- **Indicadores o descriptores acústicos/sonoros, o índices de valoración:** dado que el sonido rodea a los seres humanos en casi todas sus actividades, si se desea conocer y valorar la reacción de una persona o colectivo ante el ruido, es necesario crear una escala de medición que relacione la respuesta subjetiva de las personas con alguna magnitud o propiedad física medible de la fuente sonora (presión o intensidad sonora en un punto situado a una determinada distancia de la fuente, potencia sonora emitida, etc.), mediante un único valor identificado como "índice". Existen indicadores para determinadas fuentes, como pueden ser el tráfico rodado, los aviones, etc.

Una característica fundamental del sonido ambiente es su variación con el tiempo, cambios que fácilmente pueden alcanzar los 20 ó 30 dB en pocos segundos (por ejemplo, el sonido generado por el tráfico de vehículos), lo que hace difícil tratar de describirlo con un simple valor del nivel de presión sonora o del nivel sonoro, que sólo es representativo del nivel en un instante.

De este modo, en los sonidos variables es necesario incorporar el parámetro del tiempo a lo largo del cual es representativo el nivel, es decir, un intervalo de tiempo de referencia (MOPU, 1983), lo que implica la utilización de una lógica estadística.

Los  $L_{eq}$  son unas medidas de uso corriente para aproximarse a las molestias sonoras, y consisten en el cálculo de la media de distintos niveles sonoros registrados en el tiempo en un punto para obtener un nivel sonoro continuo equivalente (o nivel de presión sonora continuo equivalente), que identifica el nivel de un hipotético sonido continuo o constante que, en el mismo intervalo de tiempo de referencia, contiene la misma energía sonora total que el sonido discontinuo o fluctuante (figura 2.3.) que se ha medido en el punto (es equivalente, en términos de contenido energético, al ruido real), es decir, mide la energía sonora total en un periodo de tiempo, y la representa con un solo número.

Figura 2.3. Ejemplo de nivel sonoro fluctuante a lo largo del tiempo.



Fuente: MAGRAMA, 2015 b.

Se ha visto que su concordancia con la respuesta subjetiva al sonido es mejor que la de otros descriptores, y está siendo aceptado cada vez más para la valoración del ruido ambiental. Así, el  $L_{eq}$  está relacionado con la respuesta del receptor a las variaciones temporales del sonido, durante una exposición prolongada. Este indicador ignora pues el carácter aleatorio del tráfico, por ejemplo. Normalmente, el  $L_{eq}$  tiene ponderación del tipo A,  $L_{Aeq}$ , y se mide en decibelios. El cálculo del nivel sonoro continuo equivalente de cualquier suceso productor de un nivel sonoro variable en el tiempo, discontinuo o intermitente, está relacionado con la integración matemática del cuadrado de la presión sonora, y se lleva a cabo a través de la siguiente fórmula:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^t \left( \frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt$$

donde:

$T$  = tiempo de medida necesario para la observación (s),

$P_A(t)$  = presión sonora ponderada A en un instante "t",

$P_0$  = presión sonora de referencia (20  $\mu$ Pa),

Otra forma quizás más práctica de expresarlo es la siguiente:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^t 10^{L(t)/10} dt$$

donde:

$T$  = duración de la observación o de la firma sonora del suceso (s),

$L(t)$  = valor instantáneo del nivel sonoro del suceso en un instante de tiempo "t".

Frecuentemente se necesita obtener el  $L_{Aeq}$  de un periodo de tiempo que incluye intervalos con características de sonido diferentes, y que se han evaluado independientemente. El cálculo del  $L_{Aeq}$  de una serie de intervalos independientes se realiza mediante la expresión:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \left[ t_i \cdot 10^{L_{Aeq,i}/10} \right]$$

donde:

$T$  = duración del periodo considerado (s),

$t_i$  = duración correspondiente a cada uno de los intervalos (s),

$L_{Aeq,i}$  = nivel sonoro continuo equivalente ponderado A en el intervalo de clase "i",

El inconveniente de este indicador sonoro dotado de una continuidad equivalente es que puede conllevar a la subevaluación de acontecimientos sonoros ocasionales (OCDE, 1991).

También es frecuente, para registrar variaciones de niveles sonoros fluctuantes (a causa del carácter aleatorio de ciertos tipos de ruido, como el generado por el tráfico rodado), recurrir al análisis estadístico de la distribución de los mismos, empleando los niveles sonoros estadísticos (promediados en el tiempo) percentílicos, que son los superados o excedidos durante distintos porcentajes de tiempo respecto del periodo total de medición. Suelen emplearse el  $L_{90}$  (nivel sonoro en dBA que se ha sobrepasado durante el 90 % del tiempo total de medición), usado con frecuencia para identificar niveles ambientales o de fondo (García Sanz y Javier Garrido, 2003), el  $L_{50}$  (mediana de la distribución de niveles sonoros registrados) como medida de los niveles medios, el  $L_{10}$ , como medida de los niveles máximos o de pico (Cobo Parra, 1997), etc. (*vid.* figura 2.4.).

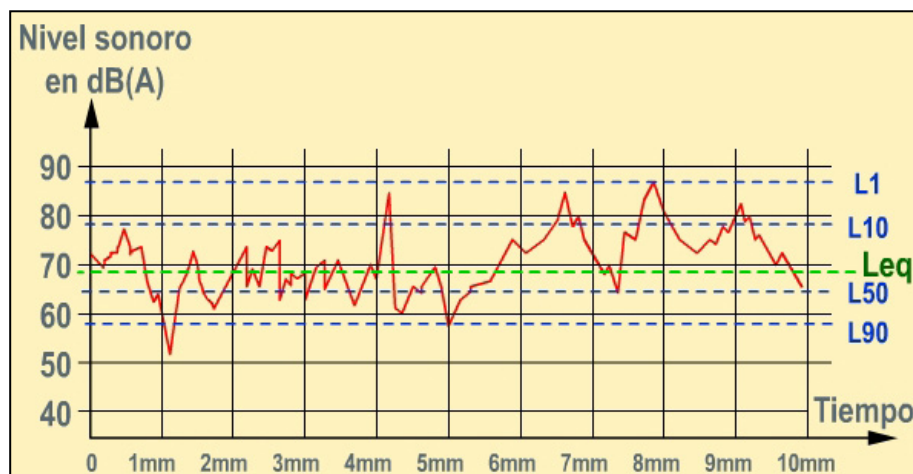
Por otra parte, las contribuciones de distintas fuentes, expresadas en  $L_{Aeq}$  pueden sumarse para dar el nivel equivalente total, si bien esta suma resulta un tanto dificultosa, dado que ha de ser logarítmica, como se indica a continuación:

$$L_{Aeq} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_{Aeq,i}/10}$$

Por ejemplo, el nivel sonoro producido por dos automóviles que emiten cada uno 60 dBA no es 120 dBA sino 63 dBA, el generado por dos motores de avión que emiten cada uno 120 dBA no es 240 dBA, sino 123 dBA, y el de un camión de 95 dBA y una motocicleta de 89 dBA, ambos circulando simultáneamente, es de 96 dBA, es decir, 1 dBA por encima del más ruidoso (Sanz Sa, 1987). Una nueva instalación industrial que tenga una emisión sonora inferior en 3 dBA al ruido ambiente de fondo del lugar aumentará éste en 2 dBA, lo cual tiene importancia, por ejemplo, en cuanto a los problemas de tipo

jurídico que puede crear (concesiones de autorizaciones de instalación, etc.). Si se quiere determinar el ruido neto generado por una fuente concreta, se deberá realizar la medición frente a ella y además habrá que medir también el ruido de fondo del lugar, para luego restárselo logarítmicamente a la primera.

Figura 2.4. Ejemplo de sonido fluctuante a lo largo del tiempo y representación gráfica de sus niveles sonoros percentílicos.



Fuente: MAGRAMA, 2015 b.

Los demás indicadores más frecuentemente empleados suelen expresarse siempre en términos del nivel sonoro continuo equivalente ponderado, respecto a diferentes tiempos de referencia, como es el caso del  $L_{Aeq,24h}$ ,  $L_{Aeq,día}$ ,  $L_{Aeq,noche}$ ,  $L_{Aeq,den}$ , etc., de manera que en su cálculo se tiene en cuenta cuáles son dichos intervalos de tiempo de referencia (por ejemplo, duración del periodo diurno, nocturno, etc.). En los índices combinados, como por ejemplo el  $L_{dn}$  ("día noche"), se aplica la fórmula vista anteriormente del  $L_{Aeq}$  de un periodo de tiempo que incluye intervalos con características de sonido diferentes, y que se han evaluado independientemente. En ciertos casos es preciso introducir correcciones, establecidas por la normativa.

Estos niveles sonoros continuos equivalentes no deben confundirse con el valor medio del nivel sonoro, el cual dice poco de la importancia de las variaciones en el nivel a lo largo del tiempo. Si éste último se acompañase de los niveles máximo y mínimo, se aclararía algo la situación, aunque no lo suficiente, dado que el valor máximo puede ser debido, por ejemplo, a un solo vehículo destacado, muy ruidoso y por tanto singular en el contexto del tráfico en su conjunto, cuyo nivel sonoro se desea medir (MOPU, 1983).

Cuando se trata de comparar sucesos de distinta duración, como por ejemplo el paso de trenes de mercancías o de viajeros, se suele emplear el nivel de exposición sonora (SEL), que es el nivel continuo equivalente referido a un segundo.

- **Propagación espacial:** depende fundamentalmente del tipo de fuentes sonoras, de su distribución en el espacio y de las condiciones y características del medio de propagación. Para transmisiones exteriores, en condiciones prácticamente ideales, con una atmósfera uniforme y libre de obstáculos y con unas condiciones meteorológicas favorables, se ha estimado que el nivel de presión sonora emitido por una fuente sonora puntual (y por tanto el nivel de intensidad sonora percibido), radiando uniformemente en todas las direcciones, disminuye a razón de 6 dBA cada vez que se duplica la distancia de alejamiento a la fuente (Sanz Sa, 1987). En esas mismas condiciones, en el caso de una fuente lineal la disminución es de 3 dBA. Por tanto, el nivel de presión sonora registrado en un punto depende de la distancia que lo separe de la fuente emisora.

En la práctica, se ha constatado que las fuentes sonoras no son totalmente omnidireccionales, sino que tienen direcciones de propagación sonora preferentes, así como la atmósfera dista mucho de presentar condiciones uniformes y homogéneas (con gradientes de temperatura, vientos, turbulencias, nieblas, etc.) y hay presentes zonas de vegetación o barreras sólidas que interfieren significativamente en la propagación sonora, por lo que los niveles recibidos en cualquier punto se encuentran por encima o por debajo de los indicados en la propagación ideal (MOPU, 1983).

De este modo, tiene lugar una absorción por parte del aire, como medio transmisor, que se deja sentir a partir de los 300 m de distancia, y depende del viento (de su dirección y velocidad, creándose zonas de sombra en el lado desde el que sopla), la temperatura y la humedad relativa (con ellas aumenta la velocidad de propagación). Esta absorción es altamente selectiva con la frecuencia, así como pueden producirse además fenómenos de refracción y reflexión. También depende de la presión atmosférica y las precipitaciones, de manera que, según el *Estándar Internacional ISO 1996, Acústica - Descripción y medida del ruido ambiental*, para transmisiones exteriores, los cambios en las condiciones meteorológicas podrían influir en el nivel de ruido recibido si la distancia entre la fuente y el receptor es de alrededor de 30 m o más.

Además, se produce absorción y reflexión por parte del terreno (porosidad) y su cobertura, especialmente importante para trayectorias de propagación rasantes, influyendo la compacidad de los materiales, las barreras naturales (accidentes geográficos, tipo y altura de la vegetación, etc.) y las barreras artificiales (vallas, muros, edificaciones, etc.). Como más adelante se comentará, siempre que se interrumpe un frente de ondas sonoras por algún obstáculo sólido se produce cierta reflexión según el coeficiente de absorción de los materiales (la cual puede provocar efectos contrarios a los deseados, incrementando los niveles sonoros en la zona de la fuente), así como difracción en sus bordes, cuyos efectos dependen de las dimensiones del objeto (Seoánez Calvo y Rodríguez Ramos, 1978). Por todo ello, el cálculo de la propagación resulta muy complejo.

Por lo que respecta a la componente espacial, hay que añadir que el campo sonoro es la región de un medio elástico (por ejemplo, el aire) que contiene ondas sonoras. Este espacio de acción de una fuente sonora, al aire libre, se zonifica según la distancia a la que se encuentre el receptor respecto de dicha fuente, en:

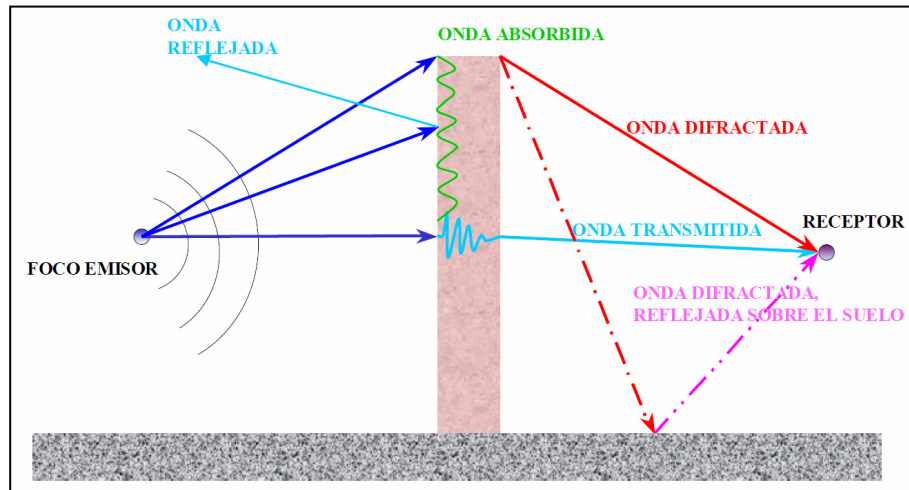
- Un campo sonoro cercano, en el que el tamaño de la fuente y el contenido espectral de la misma (frecuencias de las ondas sonoras emitidas) influyen notablemente en el nivel sonoro registrado, existiendo fuertes radiaciones direccionales y donde la variación del nivel sonoro con la distancia no es uniforme. A título de ejemplo, se ha estimado que el campo sonoro cercano para automóviles alcanza una distancia correspondiente a unos 7,5 m de la fuente, mientras que para vehículos pesados es de alrededor de 15 m. El efecto es que el ruido generado desciende muy poco hasta que se alcanza dicha distancia (MOPU, 1983).
- Un campo sonoro lejano, en el que se entra a partir de una distancia determinada respecto de la fuente y en el que esta última se comporta como una fuente puntual, y donde además, en ausencia de absorción, el nivel de presión sonora disminuye uniformemente una cantidad de 6 dB cada vez que se duplica la distancia.

Hay que añadir que existen una serie de fenómenos que suelen producirse en el proceso de propagación de las ondas sonoras (*vid.* figura 2.5.), como son:

- Reflexión: tiene lugar cuando el sonido incidente se encuentra con una discontinuidad u obstáculo de dimensiones parecidas a su longitud de onda. La onda reflejada tendrá exactamente la misma frecuencia que la incidente, y su amplitud será función de las características acústicas de la superficie de reflexión (coeficiente de absorción, porosidad, etc.) (*vid.* figura 2.6.). Se trata de un fenómeno muy importante en el ámbito del control del ruido (Behar, 1994). Un ejemplo es el eco, consistente en una reflexión que queda retrasada excesivamente después de la onda directa, con una intensidad suficiente como para poder ser percibida por el oído.
- Refracción o difracción: es la distorsión que surge cuando una onda sonora alcanza en su campo sonoro un obstáculo de dimensiones menores que la onda incidente, o cuando ésta llega al borde del obstáculo, produciéndose un cambio en la dirección de propagación: las ondas sonoras se curvan en las cercanías de los obstáculos, demostrando que la ley de la propagación rectilínea de las mismas no es rigurosamente válida. Es este fenómeno el causante, por ejemplo, de que una fuente sonora pueda ser oída aún cuando se encuentre escondida detrás de una pared, o de que se oiga la bocina de un automóvil antes de doblar una esquina. Se trata de un fenómeno importante, por ejemplo, en el diseño de barreras acústicas. Como resultado de la difracción, aparecen zonas de sombra sonora.

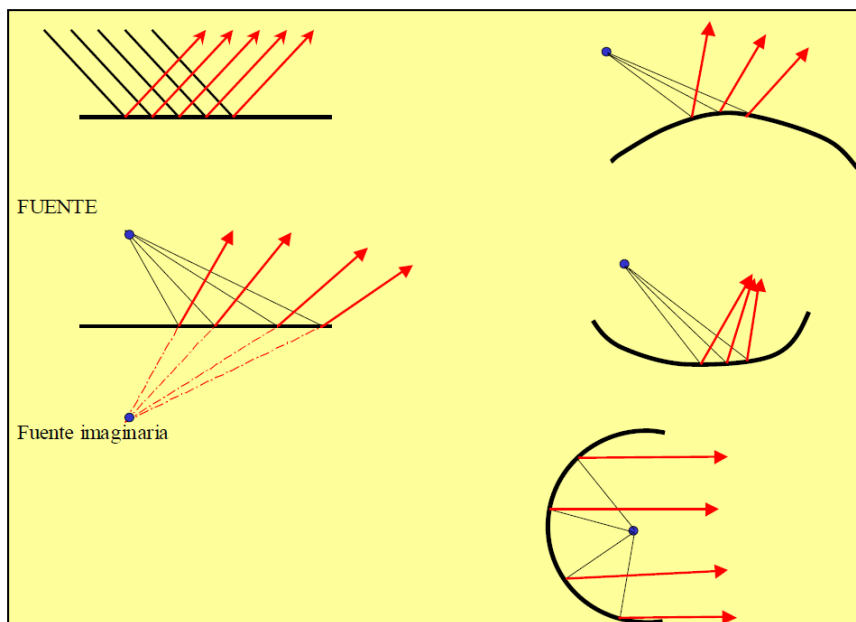
- Interferencia: produce que el desplazamiento de la onda resultante sea función de los desplazamientos, frecuencias y amplitudes de las ondas implicadas.

Figura 2.5. Efecto de los obstáculos en la propagación de las ondas sonoras.



Fuente: MAGRAMA, 2015 b.

Figura 2.6. Reflexión del sonido sobre diferentes superficies.



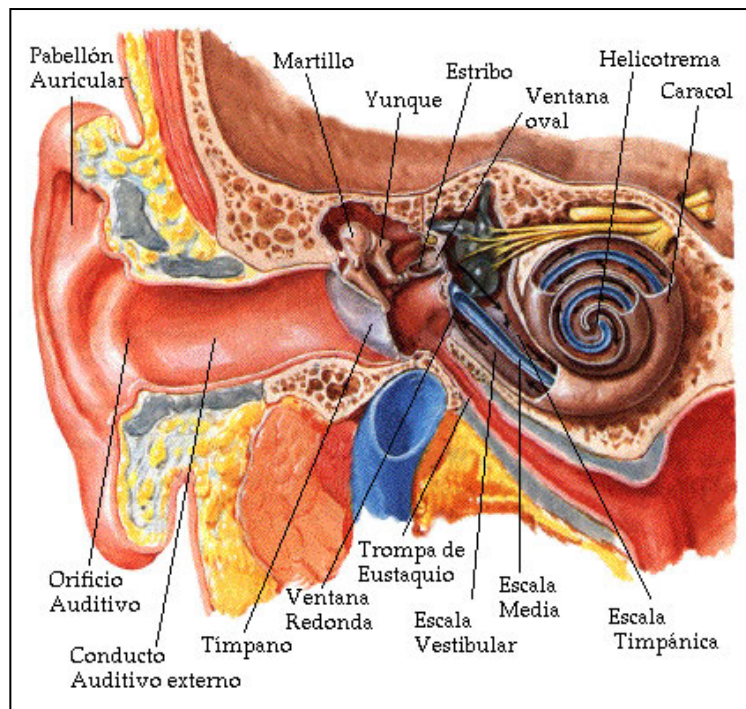
Fuente: MAGRAMA, 2015 b.

### **2.1.3. Percepción del sonido por el oído humano**

Ya se ha explicado que el sonido es un fenómeno físico que consiste en la alteración vibratoria de un medio, generalmente el aire, por el cual se transmiten las ondas sonoras, siendo capaz de provocar una sensación auditiva. Las ondas se introducen por el pabellón del oído haciendo vibrar la membrana del tímpano, de ahí pasa al oído medio, oído interno y excita las terminales del nervio acústico que transporta al cerebro los impulsos neuronales que finalmente generan la sensación sonora (MAGRAMA, 2015 b).

El oído es, por tanto, el órgano sensorial a través del cual se percibe el sonido, y se encuentra dotado de una fisiología característica y especializada para ello (*vid.* figura 2.7.). Anatómicamente, se divide en tres partes: el oído externo, que incluye la parte visible desde el exterior, denominada pabellón auditivo, a través del cual son canalizadas las ondas sonoras recibidas hacia el conducto auditivo o canal. En él, como si de un tubo se tratase, las variaciones de presión del aire imprimen vibraciones a la membrana timpánica, ubicada al final de dicho conducto. La amplitud de estas vibraciones es del orden de una micra o más pequeña incluso.

Figura 2.7. Esquema con la anatomía del oído humano.



*Fuente: Sense Internacional, 2002.*

A continuación se encuentra el oído medio, que contiene tres pequeños huesos concatenados (denominados martillo, yunque y estribo, por sus formas características), encargados de transmitir las vibraciones de la membrana, que vibra en el aire, a la denominada ventana oval, una de cuyas caras está en contacto con el líquido existente en el



oído interno. Esta parte está constituida por una cavidad de forma compleja y rellena de líquido, que contiene membranas y terminales nerviosos, a través de los cuales se detectan los cambios de presión producidos, información sensorial que se trasmite al nervio acústico. Aunque esta es la vía normal de audición, los sonidos también se pueden transmitir al oído interno mediante los huesos del cráneo, sin intervención del tímpano.

Las vibraciones de la ventana oval se transfieren por medio de los líquidos del oído interno a las células ciliadas del órgano de Corti, transmitiéndose por último la señal al nervio acústico, y de él, al cerebro.

En definitiva, el oído percibe variaciones de presión que son interpretadas por el sistema nervioso. La capacidad auditiva varía en cada individuo, considerándose como audición normal la capacidad de detectar sonidos en el rango de audiofrecuencias comprendidas entre 20 y 20.000 Hz, como ya se ha comentado anteriormente, aunque, por lo general, la sensibilidad auditiva disminuye con la edad (Sanz Sa, 1987). El umbral de audición o de audibilidad a una frecuencia específica es el mínimo valor de la presión de una onda sonora capaz de producir una sensación auditiva.

La escala de audición humana, es decir, el margen de respuesta del oído, desde el umbral de detección mínima de la señal sonora hasta el máximo de audición es bastante grande, extendiéndose de 0 a 120 (e incluso 140) dB, aunque es superado por muchos animales. En realidad, el oído humano no interpreta los cambios en la presión sonora ni linealmente ni logarítmicamente, sino de un modo más complejo.

#### **2.1.4. La medición instrumental del sonido**

Frecuentemente un entorno acústico está compuesto por una serie de sonidos que provienen de diferentes fuentes que, individualmente o combinadas, conforman el ruido total del lugar. Su distribución y combinación va cambiando a lo largo del tiempo, lo cual dificulta su caracterización. El gran número de investigaciones acerca de cómo se ve afectado el ser humano por el ruido proveniente de diferentes fuentes de sonido simples, como el tráfico rodado, ferrocarril, aviones, plantas industriales, etc. ha provocado que existan una gran variedad de medidas para valorar los diferentes tipos de ruido.

La evaluación de los niveles sonoros existentes en una zona determinada del espacio susceptible de sufrir contaminación acústica es un elemento necesario para tener conocimiento de la situación acústica en la misma (medir los niveles sonoros para describir el ambiente acústico existente) y determinar la gravedad del problema, lo que exige identificar quiénes son los afectados por el ruido y su grado de sensibilidad al mismo, así como establecer si se rebasan los límites de exposición indicados por la normativa aplicable. Por otra parte, la fase de medición y caracterización del ruido sirve para realizar un diagnóstico como etapa previa a todo programa de reducción del mismo, tanto ambiental

como de fuentes específicas, posibilitando la toma de decisiones sobre el tipo de actuación preventiva o correctora que deberá emprenderse.

De este modo, los criterios a adoptar en el planteamiento de una campaña de medición y evaluación del ruido (número, duración y momento de realización de las mediciones) deben elegirse teniendo en cuenta los objetivos a alcanzar, y dependen de las características del propio ruido existente en el lugar (fundamentalmente duración y variación del nivel sonoro). Algunos de los objetivos básicos pueden ser (Sanz Sa, 1987):

- Cuantificación del ruido de una fuente aislada.
- Evaluación del ruido ambiental con la finalidad de conocer el grado de molestia que puede producir.
- Medir la dosis de ruido en un ambiente laboral, para determinar el riesgo de pérdida de audición.

Los datos acústicos recogidos suelen ser niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados ( $L_{Aeq}$ ) para determinados intervalos de tiempo de referencia.

De la metodología y las técnicas de medición adoptadas dependerán los resultados obtenidos. Generalmente, éstas están contenidas en la normativa aplicable (ordenanzas municipales, normas autonómicas, etc.).

#### 2.1.4.1. Instrumental y equipos de medida

Los equipos de medida del sonido más comúnmente empleados son los **sonómetros**, que miden el nivel de presión sonora o el nivel sonoro eficaz (el cual depende directamente de la energía del ruido). En realidad, dicho instrumento mide la presión sonora con relación a una presión tomada como referencia, con lo que se puede averiguar la intensidad, dado que ésta es proporcional a la media cuadrática de la presión sonora (Sanz Sa, 1987).

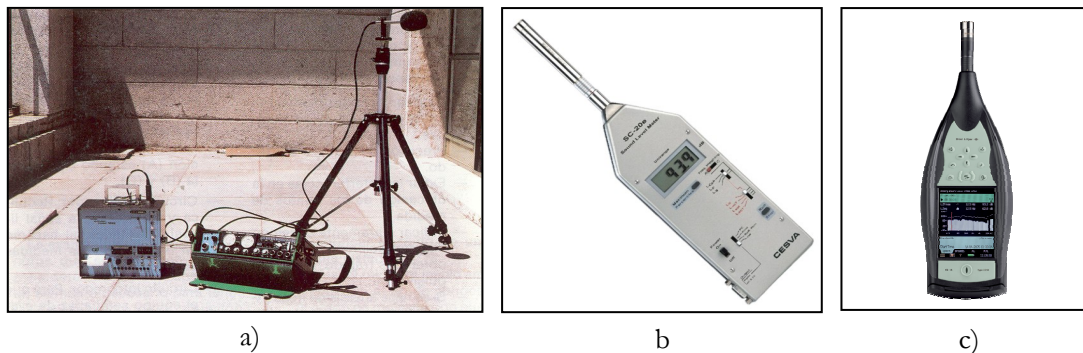
Se trata de aparatos portátiles, compuestos por una serie de elementos básicos y otros auxiliares, conectados entre sí constituyendo una cadena. Los principales dispositivos que los componen son:

- Micrófono: consta de una membrana que vibra según las variaciones de la presión sonora del aire, transformándola en una señal de impulsos eléctricos.
- Preamplificadores: adaptan la señal eléctrica.

- Amplificador: aumenta las señales eléctricas hasta valores fácilmente detectables.
- Circuitos de ponderación: modulan la señal para que ésta tenga una relación directa con la sensación auditiva. El motivo es, por ejemplo, que dos sonidos distintos captados por el sonómetro ambos a 20 dB, no van a ser igualmente percibidos por el oído humano si uno de ellos es a 1000 Hz y el otro a 100 Hz (este último se oirá más bajo), por lo que se revela como necesario introducir un factor de compensación. Actualmente se usa casi exclusivamente la curva de ponderación A (ya explicada con anterioridad), estando en desuso la B y la C. De este modo, el sonómetro es capaz de dividir en bandas todas las frecuencias que le llegan, y realiza una ponderación dando mayor importancia a las correspondientes al rango de mayor sensibilidad del oído (es decir, entre aproximadamente 1.000 y 6.000 Hz), frente a las más graves y agudas, obteniendo así una medida más representativa de la molestia que puede producir el ruido.
- Circuito rectificador: rectifica y transforma la señal de lineal a logarítmica, dado que las medidas acústicas se hacen en esta escala.
- Circuito integrador: es el responsable de la capacidad de respuesta del detector para que la lectura sea significativa. Para que el equipo sea capaz de evaluar los distintos tipos de ruido de forma coherente debe responder de forma más o menos rápida, es decir, integrar la información en mayor o menor tiempo. Los tiempos de integración están normalizados en lento (1 segundo), rápido (125 milisegundos), impulsivo o de impulso (35 ms) y, en ocasiones, de pico (50 ms).
- Indicador: muestra el valor de la presión sonora según las ponderaciones, filtros o integradores que se hayan utilizado. Los indicadores del tipo galvanómetro (de aguja) ya están en desuso, empleándose en la actualidad los digitales.
- Filtros: permiten conocer el valor de las distintas frecuencias de interés del ruido medido, de forma secuencial.
- Registradores: registran la señal detectada por el micrófono para su estudio posterior. Pueden ser gráficos, imprimiendo el nivel sobre papel calibrado en decibelios en función de la frecuencia o el tiempo, o magnéticos, que graban la señal sonora en una cinta magnética para su posterior análisis en laboratorio. En la actualidad apenas se utilizan, pues los avances informáticos permiten almacenar la información registrada en la memoria interna de los propios equipos de medida o en memorias periféricas extraíbles, desde las que posteriormente se vuelca directamente a un ordenador, en el que se analiza mediante el software de análisis/tratamiento adecuado.

El aspecto que presentan algunos equipos de medida es el que puede observarse en la figura 2.8.

Figura 2.8. a) Equipo de medición antiguo compuesto por sonómetro con micrófono, filtros y registrador; b) y c) sonómetros integradores-promediadores.



Fuente: a) Sanz Sa, 1987; b) CESVA, 2004 y c) Brüel & Kjaer, 2015.

En la actualidad suelen utilizarse sonómetros integradores-promediadores, capaces de expresar la medición en nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A registrado a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Como ya se ha comentado, el  $L_{Aeq}$  resulta especialmente adecuado cuando se trata de niveles de ruido fluctuante, como sucede en el caso del tráfico rodado, por ejemplo. Con vistas a hacer un correcto control del ruido, por ejemplo para seleccionar los materiales aislantes más absorbentes, las pantallas de protección adecuadas o identificar las fuentes más representativas, es importante conocer su espectro de frecuencias. El análisis de frecuencias de ruidos continuos se puede realizar mediante sonómetros provistos de un juego de filtros. El análisis de la información registrada suele realizarse tras el volcado de la misma a un ordenador, con la ayuda de aplicaciones informáticas.

La instrumentación normalmente empleada para la medición y toma de datos suele ser móvil, es decir, relativamente fácil de trasladar de un lugar de medición a otro (*vid.* figura 2.9.), y está integrada por un micrófono de intemperie, un analizador estadístico, un módem de comunicaciones, una conexión telefónica (vía cable o celular) y material auxiliar: baterías, trípode, cables de conexión, estuche/armario/maleta de intemperie y transporte, etc. El micrófono (*vid.* figura 2.10.) va equipado con los medios apropiados para fijarlo correctamente en los distintos emplazamientos que se designen y sin que esta fijación afecte sensiblemente al campo acústico. Así mismo, dispone de los medios apropiados que aseguran una total protección de la electrónica que lo compone, tales como pantalla antiviento, agujas antipájaro, deshumidificador recambiable, etc.

Cuando se trata de la realización de un estudio amplio de niveles sonoros, por ejemplo con la finalidad de elaborar un plano acústico, se suelen emplear varias de estas unidades móviles comunicadas con una estación central en la que un programa de comunicaciones permite el volcado diario automático de los valores almacenados en cada una de ellas. Una vez que esta estación los ha recogido, mediante un programa informático se hace la determinación de los parámetros que previamente han sido considerados.

Figura 2.9. Unidad estándar de medición de niveles sonoros.



*Fuente: Ayto. de Madrid, 1999.*

Figura 2.10. Kit de micrófono de intemperie.



*Fuente: CESVA, 2004.*

Aparte de los sonómetros, en ocasiones también se emplean los **analizadores digitales de frecuencia**, cuando la señal sonora, por su tipo y procedencia, no permite un análisis secuencial de frecuencias en tiempo real, como es el caso del análisis del ruido de un avión. Estos equipos permiten promediar durante tiempos largos.

Cuando se quiere evaluar el riesgo del ruido en un ambiente laboral se emplean los **dosímetros** (ver figura 2.11.), que tienen en cuenta el nivel sonoro, el tiempo de exposición y la frecuencia, por lo que suelen usarse para la medición del nivel diario equivalente. Su diferencia con los sonómetros es que disponen de un circuito inhibidor que compara los niveles sonoros registrados con un nivel mínimo, y si éstos son inferiores no los contabiliza, así como también posee un circuito contador que acumula la dosis de ruido en función del nivel sonoro y del tiempo, de acuerdo con unos criterios normalizados.

La precisión que deben cumplir los equipos de medida del ruido está regulada por normas internacionales y nacionales, y cualquier instrumentación que se vaya a emplear debe estar previamente calibrada conforme a la normativa<sup>2</sup>.

Figura 2.11. Modelo de medidor de la exposición al ruido (dosímetro).



Fuente: CESVA, 2004.

#### 2.1.4.2. Metodología y técnicas de medición

En general, la metodología a seguir viene determinada por las guías, indicaciones y criterios marcados por las normas técnicas, como el *Estándar Internacional ISO 1996, Acústica - Descripción y medida del ruido ambiental* y otras referencias internacionales, nacionales, autonómicas y locales.

Es importante determinar en una fase previa qué medidas se van a adoptar y cómo, para que la medición del sonido se realice con todas las garantías procedimentales necesarias para no invalidarla (Cano Murcia, 2004). La técnica de medida usada en referencia a la instrumentación, el número de posiciones del micrófono, el número y duración de los intervalos de medida, etc., dependen de varios factores. Así, algunos de los puntos a tener en cuenta para la adquisición de datos relevantes son los siguientes (ISO, 1996):

- Objetivo del estudio (control del ruido, etc.).
- Localización, naturaleza, características y operación de las fuentes emisoras (número, distribución, variabilidad de la emisión, etc.).

---

<sup>2</sup> Orden del Ministerio de Fomento, de 25 de septiembre de 2007, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos, y otras normas.

- Condiciones de propagación del sonido, así como atenuación y refracción por muros y fachadas de edificios y otras barreras, y aspectos geográficos del área de estudio: naturaleza, relieve, ocupación, usos y otras características del suelo y entorno cercano.
- Condiciones meteorológicas (los niveles sonoros son afectados por éstas, especialmente cuando la distancia de propagación es larga).
- Localización, naturaleza, características y actividad de los receptores.
- Significancia de los resultados para los usos del suelo de la zona de estudio.

Los instrumentos de medida y toma de datos deben ser calibrados, comprobados y verificados mediante un calibrador acústico o sonoro, o sistema equivalente, antes y después de cada medición o serie de mediciones y en el mismo lugar de la medida, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento.

Siempre existe un determinado error en el proceso de medición, bien debido al instrumental, al operador o al tratamiento posterior que reciben los datos recogidos. Por otro lado, dado que a partir de las mediciones realizadas en un periodo temporal concreto se van a determinar los niveles sonoros generales del lugar, cabe hacer la observación de que, en lo relativo a la duración de la medición, se puede llegar en el límite a que el tiempo de medición coincida con el de exposición, reduciendo en este caso el margen de error.

En cada punto de medición es conveniente rellenar algún tipo de ficha en el que se recoja la información más relevante relativa al mismo, como su identificación correspondiente en la malla de puntos, la localización exacta de los instrumentos o puntos de medida, vivienda en la que se instala (en su caso), unidad móvil e instrumentación utilizadas, detalles de su calibración procedimiento de medida, cálculo empleado y tipos de análisis llevados a cabo, fecha de instalación y fecha de retirada de la instrumentación, fecha e intervalos de tiempo de medición y de referencia, etc. Entre otras posibles observaciones a adjuntar a tal ficha, pueden indicarse las condiciones atmosféricas, la naturaleza y estado del suelo entre las fuentes y las posiciones de medida, o un resumen de las actividades y fuentes existentes en las proximidades con influencia acústica en el punto de medición, especialmente las de pública concurrencia y funcionamiento nocturno, y su variabilidad.

#### *2.1.4.2.1. Posiciones de medida*

El planteamiento de la medición de los niveles sonoros debe ser enfocado desde la óptica de un muestreo, con la particularidad de que debe ser llevada a cabo en aquellas localizaciones exteriores apropiadas y representativas para la descripción acústica del entorno considerado. Es conveniente indicar dichas posiciones de medida en un plano o mapa. Generalmente, suelen ser elegidas de modo equidistante dentro del área de

consideración (por ejemplo en las intersecciones de las líneas de referencia de un mapa), a modo de malla o cuadrícula. El número de posiciones y densidad de los puntos de rejilla en un área depende de la resolución espacial requerida para el estudio y la variación espacial de los niveles sonoros. Dado que esta variación es más acusada en la proximidad de las fuentes y grandes obstáculos, allí la densidad de los puntos debería ser por lo tanto mayor. En general, la diferencia de los niveles de presión sonora entre los puntos adyacentes de la rejilla no debería ser superior a 5 dBA. Si se encuentran diferencias superiores a este valor es conveniente usar puntos intermedios.

Si las variaciones espaciales del nivel sonoro son pequeñas, o ello sólo sucede en pequeñas áreas de estudio, determinadas localizaciones pueden ser seleccionadas como medidas representativas de toda el área. Un estudio preliminar podría ser útil para identificarlas.

En cuanto a las localizaciones de medidas usadas para la descripción de las fuentes, si se desea evaluar las contribuciones de varias fuentes de sonido individualmente o como clases, las posiciones deben ser elegidas con proximidad a cada una de ellas para reducir la posible influencia de otras.

En ocasiones, las posiciones de medida permiten realizar interpolaciones y extrapolaciones entre algunos puntos para estimar el nivel sonoro en otros. Ello permite además representar contornos con niveles iguales de sonido. En cualquier caso, es conveniente tener en cuenta la atenuación que se produce como resultado de la propagación geométrica del sonido, la absorción atmosférica, los efectos del suelo y demás factores.

Generalmente, la elección de las posiciones de medida depende del propósito de las mismas, así como la altura del micrófono debe elegirse en función de la actual o futura altura del receptor, y debe estar orientado para ser lo más sensible posible a la incidencia del sonido (ISO, 1996).

- Medidas en exteriores: para efectuar medidas al aire libre se deberá utilizar siempre una pantalla antiviento que garantice una correcta protección al micrófono frente al ruido inducido por el viento. Con el objeto de minimizar la influencia de las reflexiones, las medidas deberán, cuando sea posible, ser llevadas a cabo al menos a 3,5 m desde cualquier estructura o superficie reflectante que no sea el suelo. La altura de medida suele estar comprendida en un rango entre 1,2 y 1,5 m sobre el nivel del suelo, o bien se coloca el micrófono a la altura dónde se encontraría el oído. En áreas edificadas, la altura de medida oscila entre 3 y 11 m. También se debe prever el posible apantallamiento debido al propio operador del equipo. Es recomendable el uso de trípodes.
- Medidas en exteriores cerca de edificios: estas medidas se llevan a cabo en lugares donde el ruido al cual está expuesto el edificio sea de interés. Las posiciones de medida habituales son de 1 a 2 m desde el foco y de 1,2 a 1,5 m sobre el nivel del suelo. Es



deseable minimizar la influencia de las refracciones, por lo que es aconsejable que las medidas se hagan al menos a 3,5 m de una estructura refractaria o a 0,5 m enfrente de una ventana abierta. Cuando es necesario, los micrófonos deben ser ubicados en la primera o a lo sumo en la segunda planta, en balcón exterior y procurando un apantallamiento mínimo y una menor incidencia de reflexiones (Ayto. de Madrid, 1999).

- Medidas dentro de edificios: no resulta pertinente su comentario en relación con este estudio, dado que la investigación realizada se centra en el ruido ambiental exterior.

#### *2.1.4.2.2. Tiempo de medición*

En general, los intervalos de tiempo de medición suelen ser elegidos de manera que todas las variaciones significativas de la emisión y transmisión del ruido sean cubiertas, determinando los niveles sonoros con la precisión deseada.

- Los niveles de ruido constante pueden medirse durante un periodo de tiempo muy breve (1 segundo o menos).
- Si el ruido presenta una clara periodicidad, los intervalos de tiempo de medida deben cubrir al menos un periodo. Si no pueden hacerse medidas continuas en dicho periodo, los intervalos de tiempo deben elegirse de forma que cada uno represente una parte del ciclo y todos ellos juntos representen el ciclo completo.
- Si el nivel de presión sonora varía con el paso de tiempo, pueden seleccionarse intervalos de tiempo de medida de modo que cada uno represente un periodo en el cual el nivel de ruido podría ser considerado como aproximadamente constante.
- Si el ruido varía aleatoriamente, los intervalos de tiempo de medida deben ser elegidos para obtener muestras independientes suficientes que aporten una estimación significativa del nivel sonoro medio.

En estos dos últimos casos de ruidos variables pueden establecerse, según convenga, tiempos de medición muy breves (de 1 segundo o menos, al igual que sucede con los ruidos constantes) para medir los niveles instantáneos de ruidos variables, o promedios de tiempo más prolongados, durante horas si es necesario (expresados en función del nivel de presión sonora continuo equivalente ( $L_{eq}$ )).

En general, para la selección de intervalos de tiempo de medida y referencia adecuados a los objetivos perseguidos, puede ser necesario investigar la situación del ruido en periodos de tiempo relativamente largos, durante los cuales tomar las medidas. Así, los intervalos de tiempo de referencia deben ser especificados para cubrir las actividades humanas (por ejemplo, uno para el día y otro para la noche o, menos frecuentemente, para

tardes, fines de semana, vacaciones, etc.) y las variaciones en la operación de la fuente (densidad del tráfico, horas de trabajo en las plantas industriales, etc.).

En ocasiones es conveniente elegir intervalos de tiempo largo, consistentes en una serie de intervalos de tiempo de referencia, con el propósito de describir el ruido ambiental en relación con los usos del suelo.

Generalmente, al realizar un determinado número de mediciones se requiere del tratamiento estadístico de los resultados. Los que incluyen contribuciones de sonidos excepcionales que no son típicos para el ruido existente en la localización seleccionada deben ser tratados separadamente, si es necesario.

#### *2.1.4.2.3. Adquisición de datos acústicos*

Los datos acústicos son adquiridos durante el intervalo de tiempo de medida a través de dos métodos, fundamentalmente:

- Integración continua: el intervalo de tiempo de medida cubre el intervalo de referencia completo, a excepción de los periodos en los que las condiciones de medición podrían conducir a resultados erróneos, por ejemplo en periodos de viento, lluvia o granizo fuertes, o contribuciones de ruido atípico.
- Técnicas de muestreo: los valores largos del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A ( $L_{Aeq}$ ) son calculados a partir de muestras de los intervalos de tiempo de medida en los intervalos de tiempo de referencia. En este caso, el intervalo de tiempo de medida total es sólo una fracción del de referencia, y consiste en un número de intervalos de tiempo distintos, separados por otros intervalos en los que no se toman medidas.

En ocasiones, es conveniente aplicar ajustes meteorológicos para compensar condiciones atmosféricas desfavorables.

Según los tipos de ruido se pueden distinguir varios casos para los cuales es adecuado diferente instrumental:

- Si el ruido es constante durante el periodo de interés, la medición puede ser llevada a cabo por un medidor sencillo del nivel sonoro.
- Si el ruido es más o menos constante, pero presenta variaciones sensibles de nivel, apareciendo un número de valores de niveles sonoros claramente distinguibles, entonces los niveles separados pueden ser medidos como ruido constante y puede ser determinada la duración asociada a cada nivel, permitiendo el cálculo del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado, en dBA.

- Para un ruido fluctuante la instrumentación recomendada es un medidor del nivel sonoro o sonómetro integrador-promediador, o un medidor del nivel de exposición al sonido (en cuyo caso los intervalos de tiempo de medida asociados deben ser guardados).
- Ante eventos de ruido separados, cuando el ruido ambiental es el resultado de un número de eventos de ruido identificables, el nivel de presión sonora continuo equivalente puede ser calculado a partir de los niveles de exposición sonora de los eventos individuales ocurridos en un periodo de tiempo T. Si el ruido consiste en una sucesión de eventos discretos, puede ser medido a partir de un número entero de ciclos completos de ruido, como si fuera de tipo fluctuante (anteriormente comentado).

Tras la medición se procede a hacer el tratamiento de la información y la obtención de resultados.

#### 2.1.4.3. Consideraciones finales

La toma de datos acústicos urbanos ha requerido del desarrollo de un instrumental y técnicas adecuados a los caracteres propios del medio, en particular la multiplicidad y variedad de fuentes, así como elementos distorsionadores de la señal acústica. Para valorar las reacciones humanas al ruido, en algunas ocasiones es necesario hacer ajustes (o ponderaciones, como la del tipo A) para dar más importancia a los valores más significativos para la valoración.

En muchos casos, el objetivo de medir y describir el ruido ambiental está dirigido a la estimación o predicción de los niveles sonoros por medio de una modelización (modelos de predicción) cuando aún no existen nuevas fuentes (carreteras, ferrocarriles, plantas industriales, etc.), para contemplar las posibles variaciones que pueden implicar las nuevas infraestructuras o instalaciones proyectadas. Esto suele aplicarse, sin ir más lejos, en los Estudios de Impacto Ambiental. En estos casos, debe indicarse una descripción del modelo de propagación del sonido o métodos de cálculo usados, dado que no existen modelos de predicción universalmente válidos.

Desde el punto de vista de la inspección y régimen sancionador, las personas encargadas de realizar dichas labores (incluyendo mediciones y toma de datos acústicos) suelen ser funcionarios que han superado un curso específico y tienen el carácter de agentes de la autoridad (art. 27 de la *Ley 37/2003, del Ruido*). Por lo general se trata de funcionarios integrados en la “patrulla verde” de la Policía Local.

Finalmente, hay que insistir en que las mediciones de los niveles sonoros ambientales registrados en una zona concreta, generalmente presentados en forma de planos acústicos o mapas de ruido, suelen emplearse como herramienta para el diseño de la planificación y la gestión del ruido ambiental por parte de las autoridades competentes.

También sirven para analizar la compatibilidad de cualquier actividad o uso del suelo actual o proyectado, valorados con respecto al ruido existente o predicho, así como de las fuentes de ruido existentes o planeadas, aceptables con respecto a los usos del suelo.

## **2.2. EL RUIDO Y LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA**

### **2.2.1. Definición de ruido**

Por lo que respecta al ruido, también existe un gran número de definiciones. Se citan algunas de ellas a continuación:

- “Sonido inarticulado, por lo general desagradable” (RAE).
- “Sonido o un conjunto de sonidos desagradables o molestos” (Lamarque, 1975).
- “Forma de energía mecánica, física” (Martín Mateo, 1992).
- “Desde un punto de vista físico, representa una suma de sonidos caóticos, irregulares y arrítmicos o no periódicos. Por tanto el ruido está integrado por sonidos” (Pérez Martos, 2003).
- “Sonido molesto e intempestivo que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos no deseados en una persona o grupo” (Sanz Sa, 1987).
- “Todo sonido que se percibe pero que no es deseado por el receptor” (MOPU, 1983).
- “Desde el punto de vista subjetivo, se podría definir como un sonido no deseado y desagradable” (de la Iglesia Huerta, 1999).
- “Conjunto confuso de sonidos no deseados”. “Toda sensación auditiva desagradable o molesta, o todo fenómeno acústico que produce esta sensación, todo lo que teniendo un carácter aleatorio no tiene componentes definidos” (Francia, s. f.).
- “Es una forma de contaminación atmosférica por forma de energía, pero contaminación al fin y al cabo que produce daños, lesiones y secuelas al que la sufre igual que ocurre con la contaminación por formas de materia” (Pinedo Hay, 2001).
- “Es un ente amorfo, que no deja huella en el medio ambiente en el momento en el que cesa. Es intensamente perturbador de la convivencia humana en las sociedades desarrolladas” (Cano Murcia, 2004).

- “Algún sonido indeseable, o bien todo sonido no deseado. Sonido inarticulado y confuso más o menos fuerte” (Recuero López, s. f.).

Por otra parte, cobran gran importancia las definiciones legales que se formulan en la normativa, las cuales han sido adoptadas en muchos manuales al uso:

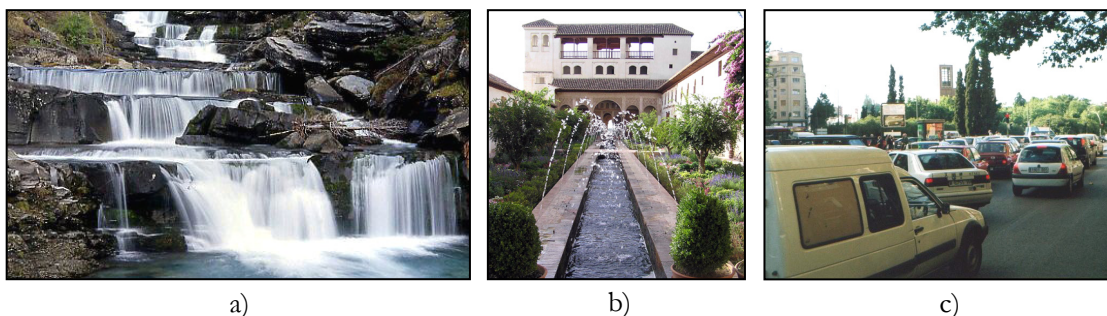
- “Todo sonido no deseado, incluyendo tanto las características físicas de la señal como las psicofisiológicas del receptor” (Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid).
- “Mezcla compleja de sonidos con frecuencias fundamentales diferentes. En un sentido amplio, puede considerarse ruido cualquier sonido que interfiere en alguna actividad humana” (Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88, sobre condiciones acústicas en los edificios, Anexo 1, art. 1.9).
- “Ruido ambiental es el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido el ruido emitido por los medios de transporte, por el tráfico rodado, ferroviario y aéreo y por emplazamientos de actividades industriales (Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental).
- “Se entiende por ruido ambiental el que se mediría con un micrófono de ambiente, que suele ser una mezcla de ruidos procedentes de diversas fuentes (tráfico, comunitario, ocio, industrial, etc.)” (Cobo Parra, 1997).
- “El ruido ambiental es el circundante, que está asociado con un ambiente o entorno determinado en un momento específico, compuesto generalmente por una combinación de sonidos procedentes de muchas fuentes cercanas o lejanas, en muchas direcciones, sin ningún sonido predominante” (Recuero López, s. f.).

A la vista de las definiciones de ruido expuestas, unas relativamente simples y otras más complejas, hay que resaltar la apreciación subjetiva de la que este concepto depende (lo que resulta agradable para algunas personas no lo es para otras), frente a la objetividad del hecho de la contaminación acústica. La subjetividad de muchas de estas definiciones va implícita a la del propio término (*vid.* figura 2.11.), de manera que el modo de percibir el ruido y los efectos que éste produce son individuales y diferentes en cada persona, es decir, dependen del nivel sensitivo de cada individuo expuesto, sin que resulte fácil establecer una relación directa entre el ruido y el daño. Esta importante circunstancia a tener en cuenta, además, es en parte responsable de la dificultad que supone abordar la gestión del ruido y su control.

Resulta difícil la objetivación de los criterios de receptividad y tolerancia al ruido considerados como “normales” para el ciudadano medio. Ello implica la complicación de fijar

un valor máximo que indique la frontera entre la no deseabilidad subjetiva y el inicio de la contaminación acústica en sentido objetivo (Alonso García, 1995). Una referencia para comparar la escala de medición de niveles sonoros con la realidad, es la presentada a continuación en la tabla 2.1.:

Figura 2.11. Dependiendo de su origen, los sonidos pueden convertirse en suaves murmullos placenteros o reparadores, o en ruidos agresivos  
(Carta de la lucha contra el ruido, 1987).



Fuente: a) Tartaj March, 2003; b) de la Fuente Rebollo, 2004 y c) Martínez Suárez, 2002.

De todas las definiciones de ruido sale a la luz su estrecha relación con el sonido y las vibraciones, al ser aquél consecuencia de éstas (la legislación, por ejemplo, en numerosas ocasiones habla de ruidos y vibraciones de forma un tanto paralela). También ponen de manifiesto el carácter incómodo, perturbador, molesto, desagradable, fastidioso, insalubre, etc. que el ruido presenta para alguien (sujeto receptor expuesto), por lo que las connotaciones psíquicas son esenciales en la determinación del concepto (Alonso García, 1995). Resulta unánime su influencia sobre la salud humana y la calidad de vida.

Frente a otros contaminantes atmosféricos determinados por factores más objetivos (presencia en el aire de determinados gases o partículas, por ejemplo), en el supuesto del ruido la no deseabilidad de la sensación auditiva lleva consigo un fuerte componente psíquico que hace difícil precisar el umbral de las molestias (de Miguel García, 1978).

Asimismo, la riqueza de nuestra lengua ha dotado al término “ruido” de una serie de atributos semánticos. En ocasiones, lleva asociado un sentido magnificador de la realidad, como es el caso de la expresión “*hacer o meter ruido*” (causar admiración, novedad o extrañeza) o el de su acepción en el “*repercusión pública de algún hecho*” (por ejemplo, en el enunciado “*sus declaraciones han producido mucho ruido*”). Sin embargo, generalmente lleva asociadas unas connotaciones o valores negativos o peyorativos, tal cual indican las expresiones “*hacer mucho ruido y pocas nueces*” (para señalar que algo aparentemente importante en realidad tiene poca sustancia o es insignificante, o aplicado a quien habla mucho y obra poco), “*querer ruido*” (ser amigo de contiendas o disputas) o la asociación que el propio *Diccionario de la Lengua Española* hace del mismo con litigio, pendencia, pleito, alboroto o discordia. También tiene un cierto

carácter distorsionador (otra acepción es la de “*interferencia que afecta a un proceso de comunicación*”).

Tabla 2.1. Niveles sonoros aproximados generados por diferentes actividades, en relación con la respuesta subjetiva de los receptores (márgenes de tolerancia al ruido).

Actividad	Nivel sonoro dB(A)	Respuesta subjetiva de los receptores	
	0	Umbral de audición	
Respiración normal	10	<b>Silencio</b>	
Rumor de hojas			
Estudios de radio y T.V. Campo tranquilo	20-25		
Murmullo suave a 2 m Conversación en voz baja	30-35		
Interior de una biblioteca Rejilla de aire acondicionado Área residencial (noche)	40	<b>Poco ruidoso</b>	
Conversación en calma Interior de vivienda en una ciudad pequeña	45		
Sala de estudio	50		
Vivienda urbana	52		
Transformador eléctrico grande, a 15 m	56		
Conversación normal o animada a voz media Conversación a 1 m	60-65		
Restaurante animado Aspirador a 3 m Automóvil a 100 km/h, a 30 m	65		
Oficina con alto grado de actividad	70		
Calle con tráfico rodado denso	70-80		
Interior de un tren o un automóvil a 64 km/h	75	Zona de fatiga  Cota de alerta Cota de peligro  <b>Muy ruidoso</b>	
Calle con tráfico intenso Mezcladora de asfalto a 15 m Ladrillo de perros	80		
Coche en aceleración a 10 m Camión pesado a 15 m	85		
Paso de un ferrocarril	90		
Martillo a 15 m	95		
Sobrevuelo de avión a hélice a 300 m de altitud	97		
Orquesta de 75 músicos a 25 m	100		
Despegue de avión reactor a 500 m de la pista	109		
Interior de discoteca	110		
Sobrevuelo de avión reactor a 300 m de altitud	112	Umbral de dolor (intensidad sonora dolorosa)  <b>Intolerable</b>	
Sobrevuelo de avión reactor pesado, en aterrizaje, a 2 km de la pista	115		
Bocina de automóvil a 1 m Reactor de un avión a 100 m	120		
Despegue de un avión a reacción a 1 m	140		

Fuente: elaboración propia a partir de Recuero López, s. f., Sanz Sa, 1987 et al.

Todas estas cuestiones y observaciones de carácter un tanto subjetivo y fruto en ocasiones del entendimiento lingüístico individual, vienen a concordar con el sentido que las definiciones más técnicas de “ruido” hacen, especialmente en cuanto a su carácter negativo, de molestia y perturbador (por ejemplo, a causa de unos niveles sonoros demasiado elevados, o la frecuencia con la que se habla de *niveles de ruido que se “soportan”*, etc.), o las connotaciones peyorativas que implica.

### **2.2.2. El mecanismo de la contaminación acústica**

Para que se produzca **contaminación acústica** es preciso la existencia de unos **focos emisores o fuentes**, casi siempre antropogénicos y situados en la superficie terrestre (aunque también se podrían considerar fuentes aéreas, como los aviones), que pueden ser fijos o estacionarios (como las instalaciones industriales, por ejemplo) o móviles (fundamentalmente debidos a los medios de transporte, al tráfico de las ciudades). A partir de ellos se produce una **emisión** de ciertos niveles sonoros a un **medio receptor** que, en este caso, se trata del aire de la atmósfera<sup>3</sup>. El nivel sonoro (o la cantidad emitida de cualquier otro contaminante) que se encuentra presente en el medio (la atmósfera) se conoce como **inmisión**. En ella, el ruido actúa como un contaminante primario que va a propagarse espacialmente y a sufrir ciertas modificaciones de intensidad, de acuerdo con los factores del terreno y las características atmosféricas, ya comentados con anterioridad en el apartado 2.1.2. Se entiende por índice de inmisión el índice acústico relativo a la contaminación acústica existente en un lugar durante un tiempo determinado.

Es evidente que, dentro de la atmósfera, la zona que se va a ver indiscutiblemente más afectada por los procesos de contaminación acústica, desde el punto de vista antrópico, va a ser la que está en contacto con la superficie terrestre, es decir, la troposfera, donde se ubican todas las fuentes y los receptores, aunque no hay que olvidar que el agua que cubre gran parte de la superficie terrestre es muy buena conductora del sonido.

Por tanto, los niveles sonoros existentes en un momento dado van a depender de los niveles de emisión y de las características de la superficie terrestre y de la atmósfera, y van a incidir sobre unos **receptores**, que pueden ser el hombre, el resto de seres vivos o el propio medio (materiales, etc.). En ellos se va a producir una **respuesta**, que se manifiesta en una serie de **efectos**, fruto de una **exposición** a dicho agente contaminante. La gravedad de estos efectos depende, por un lado, de la toxicidad o capacidad del ruido para producir un daño (fundamentalmente dependiendo del nivel sonoro, duración y variabilidad temporal) y, por otro, del grado de exposición del sujeto receptor, (en función del nivel sonoro en el medio, del tiempo y tipo de exposición).

En resumen, en el mecanismo de la contaminación acústica resultan de gran importancia los niveles sonoros presentes en el medio, así como los parámetros temporales (duración y variabilidad) y espaciales (morfología y extensión geográfica del campo acústico).

De este modo, contaminantes como el ruido, junto a otros agentes químicos y físicos, son los responsables de que la **calidad del aire** de un determinado lugar sea

---

<sup>3</sup> Nótese que el sonido, como ya se ha afirmado con anterioridad, puede propagarse por otros medios como el agua o los sólidos, de un modo más efectivo, aunque en ellos representa un papel insignificante en relación con su afección sobre el ser humano.



deficiente, con las repercusiones que ello conlleva para la **calidad de vida** de sus habitantes.

Sea cual sea la definición de ambiente que se defienda a efectos de su protección jurídica, dentro de ella siempre va a considerarse el aire, una de cuyas formas de contaminación es la acústica (junto a la química, radiactiva, etc.) (Martín Mateo, 1991 y Alonso García, 1995). Por tanto, el ruido es un contaminante del aire que produce contaminación atmosférica, es un agente contaminante ambiental. El ruido constituye así una agresión física que utiliza uno de los elementos del medio ambiente, el aire, como mecanismo de propagación. La definición de contaminación acústica que la *Ley 37/2003, del Ruido* hace es la siguiente: “*Presencia en el ambiente de ruidos, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente*”.

A nivel municipal de Madrid, las ordenanzas han incluido tradicionalmente la contaminación acústica dentro de la contaminación por formas de energía (*i. e.* junto a la contaminación por radiaciones ionizantes y la contaminación térmica), considerando cualquier emisor acústico (actividad, establecimiento, instalación, infraestructura, equipo, maquinaria, vehículo o comportamiento) que implique molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades, para los bienes de cualquier naturaleza, o que cause efectos significativos sobre el medio ambiente, enunciado que, una vez más, hace referencia a las consecuencias negativas del ruido.

### **2.2.3. Caracteres y rasgos del ruido determinantes de las molestias**

Las molestias ocasionadas por el ruido dependen de varios factores que lo caracterizan, muchos de ellos análogos a los ya explicados anteriormente al describir el sonido, que son fundamentalmente (Lamarque, 1975 y Sanz Sa, 1987):

- **Nivel de presión acústica o sonora**: ya se ha comentado cómo las ondas sonoras producen variaciones en la presión de un medio elástico como el aire, estando caracterizadas por la amplitud de los cambios de presión, su frecuencia, la velocidad de propagación y su variación en el tiempo. Puesto que el ruido es una forma de energía mecánica, la onda sonora lleva asociada un flujo de este tipo de energía. La velocidad con la que la energía acústica llega a una unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación se conoce como intensidad acústica, y se mide en vatios por metro cuadrado ( $\text{W/m}^2$ ). La energía acústica total emitida por una fuente sonora en una unidad de tiempo se conoce como potencia acústica, y se mide en vatios. Como la presión acústica tiene un margen muy amplio de variación, se ha convertido en usual la utilización de niveles de presión acústica en lugar de presiones acústicas, existiendo entre ambas magnitudes una

relación logarítmica, y adoptándose el decibelio (dB) como unidad de medida de estos niveles.

- **Frecuencia:** los ruidos agudos (“altos”), producidos por sonidos de elevadas frecuencias y por tanto con longitud de onda pequeña, son más molestos que los graves (“bajos”), producidos por sonidos de reducidas frecuencias y con longitud de onda grande.
- **Repetición:** corresponde al número de veces que se produce un determinado ruido a lo largo del tiempo, siendo un ruido discontinuo menos soportable que uno continuo.
- **Tiempo de exposición:** es el tiempo durante el cual un sujeto receptor está percibiendo un ruido emitido. Un sonido de una intensidad determinada se convierte en nocivo si el tiempo de exposición sobrepasa un cierto número de horas al día. Este parámetro tiene una estrecha relación con el uso del  $L_{eq}$  como indicador para la medición.

El ruido, como agente contaminante del medio ambiente y perturbador de la salud de las personas, presenta estos otros aspectos que lo caracterizan y se dejan sentir en el campo acústico generado por un foco:

- **Características espaciales:** están determinadas por una focalización del ámbito espacial o un ámbito espacial reducido. A diferencia de otras formas de contaminación, el ruido afecta a un espacio físico concreto y determinado en el que se manifiesta, en referencia a la ubicación física de la fuente que lo produce (Tornos Mas, 1981). Esta característica de la contaminación acústica produce que sus efectos tengan un alcance limitado y no suelen alcanzar lugares lejanos de la fuente, a diferencia de lo que ocurre con otros tipos de contaminación, como la producida por gases, partículas o vertidos, cuyos mecanismos de dispersión son más complejos y pueden sufrir modificaciones en cuanto a su localización o procesos de transporte, llegando a alcanzar distancias a veces muy grandes.

Asimismo, su dependencia de otros factores que poco o nada tienen que ver con el proceso de emisión de ruidos es menor que en otros agentes contaminantes. Aún sí, se debe considerar, como ya se mencionó en el apartado 2.1.2., la posible influencia de fenómenos de carácter físico natural, como las características topográficas, presencia o ausencia de vegetación y otras barreras físicas naturales, condiciones meteorológicas (vientos, precipitaciones, temperatura y humedad relativa, fundamentalmente) u otros condicionantes físicos artificiales, como la estructura de la ciudad, la arquitectura de los edificios, los materiales de construcción, etc. (Seoánez Calvo y Rodríguez Ramos, 1978). Por otra parte, el ruido no produce efectos sinérgicos o interacciones con otros contaminantes ambientales y, por lo general, no provoca contaminación transfronteriza.

También es importante conocer su diagrama de directividad (los ruidos de baja frecuencia suelen ser omnidireccionales, mientras que los de alta frecuencia suelen dirigirse hacia algunas direcciones preferentes).

- **Características temporales:** el ruido suele presentar un carácter temporal (Tornos Mas, 1981) y periódico, de manera que la molestia que ocasiona desaparece cuando cesa la producción del mismo, a diferencia de otros agentes contaminantes (como los vertidos de sustancias), que pueden sufrir una serie de procesos de transformación (variaciones de concentración, etc.). El ruido se percibe mientras se produce; sin embargo, los efectos de otra contaminación de la atmósfera o del agua pueden ser percibidos con posterioridad al cese de su producción. La frecuencia de aparición del ruido influye en su percepción por parte de la población. Hay muchos y variados orígenes del ruido, algunos son procesos continuos, otros son sucesos espontáneos de corta duración. En cuanto a la variabilidad temporal, las características del ruido suelen variar con el tiempo (Cobo Parra, 1997). En cualquier caso, no se pueden obviar los daños o secuelas que una determinada situación ruidosa pasada pueden causar en el sujeto receptor, en ocasiones con carácter temporal aunque, en otras, permanente o crónico.

Existen muchas clasificaciones del ruido según sus características temporales. Algunos de los tipos más característicos son los siguientes (Sanz Sa, 1987 y Cobo Parra, 1997):

- **Ruido continuo, constante o estable:** es aquél en el que sus niveles de presión acústica y espectro de frecuencias varían lentamente o apenas fluctúan en función del tiempo (figura 2.12.), con pequeños márgenes de variación (de muy pocos dBA, generalmente no más de 5). Suelen ser originados por máquinas tales como motores eléctricos o bombas, y de este tipo también suele ser el ruido ambiental de fondo. En ocasiones, puede tratarse de un ruido más o menos constante, pero presentar variaciones sensibles de nivel, apareciendo un número de valores de niveles sonoros claramente distinguibles; entonces los niveles separados pueden ser medidos como ruido constante. En otras ocasiones, si la media de nivel es relativamente constante, pero la distribución espectral del sonido cambia durante el periodo de observación, el ruido se podría clasificar como no estable.
- **Ruido fluctuante:** tanto los niveles de presión acústica como el espectro de frecuencias varían de forma aleatoria a lo largo del tiempo, con un margen de variación más o menos grande, de modo que el ruido no puede predecirse con precisión en un momento dado (figura 2.13.). Dependiendo de su repetición, puede ser periódico o no. El conjunto del tráfico rodado constituye un ejemplo de ruido fluctuante no periódico.
- **Ruido transitorio:** se produce cuando su nivel comienza y termina dentro de un periodo de tiempo determinado, más o menos largo (figura 2.14.). Por ejemplo, es el caso del paso de un automóvil aislado, un tren o un avión en vuelo. Se trata de eventos de ruido individuales, fácilmente identificables y separables del resto. Si el ruido ambiental es el resultado de una sucesión de eventos discretos, puede ser medido a partir de un número entero de ciclos completos de ruido, como si fuera ruido fluctuante.

- **Ruido de impacto:** consiste en un suceso caracterizado por un incremento brusco y de corta duración (generalmente menor a 1 segundo) del nivel de presión acústica, el cual decrece exponencialmente con el tiempo (figura 2.15.). Constituye un caso especial de ruido transitorio, y puede ser repetitivo o simple. Suele producirse como consecuencia del impacto de dos masas. Algunos ejemplos son el golpe de un martillo pilón, un choque de automóviles, un claxon, un disparo, etc.

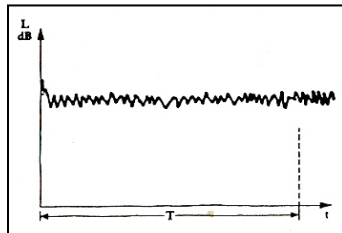


Fig. 2.12. Ruido continuo.  
Fuente: Sanz Sa, 1987.

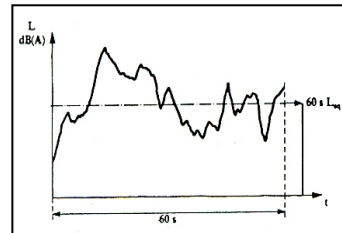


Fig. 2.13. Ruido fluctuante.  
Fuente: Sanz Sa, 1987.

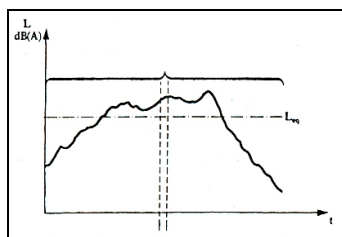


Fig. 2.14. Ruido transitorio.  
Fuente: Sanz Sa, 1987.

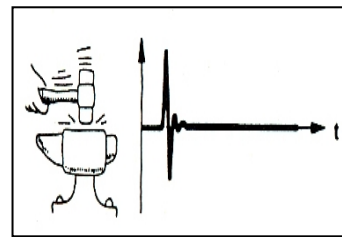


Fig. 2.15. Ruido de impacto.  
Fuente: Sanz Sa, 1987.

A título de ejemplo, un ruido de tipo impulsivo con nivel sonoro muy alto puede causar tanto daño como una exposición de varios años a un nivel constante de unos 95 dBA (Sanz Sa, 1987). En cualquier caso, la duración del ruido es importante a la hora de evaluar la respuesta subjetiva de la población al mismo. En función de la intensidad acústica, si el ruido es intermitente es posible tolerar iguales o mayores intensidades que si se tratase de un ruido continuo, aunque en cuanto a su aceptabilidad, un ruido intermitente o con tonos puros identificables es más molesto que un ruido de intensidad análoga pero estable.

- **Características espectrales:** dado que el ruido es físicamente un conjunto de sonidos y cada sonido tiene una amplitud y frecuencia determinadas, el ruido va a estar integrado por un conjunto de frecuencias. En realidad, se trata de ondas combinadas, complejas, que contienen más de una componente frecuencial. Así, se puede hablar del espectro o composición del ruido complejo, frente al puro, que presenta una frecuencia única. A este respecto, el ruido ambiental generalmente presenta un carácter mezclado (por ejemplo, el ruido de un ventilador tiene unas componentes periódicas correspondientes al paso de las

paletas cuya frecuencia fundamental es proporcional a la velocidad de giro de las mismas, sobre un fondo de ruido continuo).

Al estar el ruido constituido por la mezcla de diferentes sonidos emitidos por varias fuentes, en muchos casos no es suficiente con conocer su nivel, sino también cómo la energía sonora se distribuye en cada una de las frecuencias que componen el espectro del ruido, que generalmente constituyen un amplio rango.

Un análisis de frecuencias permite identificar las contribuciones al ruido total debidas a determinadas fuentes sonoras. Por ejemplo, en el caso del ruido del tráfico, éste casi siempre está compuesto por la contribución de muchos vehículos de varios tipos (*vid.* figura 2.16.), de manera que el espectro del ruido es una mezcla de todos los espectros característicos de los vehículos individuales (MOPU, 1983).

Figura 2.16. El ruido del tráfico se debe a la contribución de vehículos de diferente tipo.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

Desde el punto de vista de su contenido frecuencial, el ruido puede ser de banda estrecha (que se suele corresponder con uno periódico) o de banda ancha (un impulso, por ejemplo). El anteriormente mencionado frecuente carácter mezclado del ruido puede hacer que su espectro posea unas componentes estrechas (picos) sobre un fondo de banda ancha (ruido aleatorio), es decir, líneas superpuestas sobre un continuo (Cobo Parra, 1997).

Mediante el análisis de frecuencias de un ruido se puede ver cómo la energía acústica del mismo se distribuye electrónicamente en bandas, obteniéndose un nivel de presión acústica por cada una. Normalmente se usan 8 bandas, correspondiendo cada una de ellas a una “octava”. En cada banda las frecuencias superior e inferior están en la relación 2:1. Cada una se define por la diferencia correspondiente al valor central de la banda, siendo los más comúnmente empleados los relativos a 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz 4.000 Hz y 8.000 Hz.

La intensidad del ruido viene determinada por las variaciones de presión, por las frecuencias y por la superficie receptora de los sonidos que lo integran. Así, será más intenso y molesto cuando mayores sean las variaciones de presión que producen los sonidos sobre la superficie receptora. Dos ruidos pueden tener un nivel de presión sonora similar pero presentar una distribución de frecuencias completamente diferentes, resultando uno de ellos tanto más intenso, molesto e irritante cuanto mayor sea su componente en altas frecuencias. Sin embargo, esta afirmación no parece ser totalmente rigurosa (Pérez Martos, 2003), pues también va a existir una dependencia de la superficie receptora, como se acaba de comentar. La molestia percibida por el ser humano como consecuencia del ruido no depende del número de sonidos que lo integren, sino de la variación de presión y de la frecuencia asociada a dicha variación.

Se suele hablar de sonidos armónicos (generalmente agradables) frente a sonidos no armónicos (más desagradables). Este es el caso, por ejemplo, del sonido de un piano frente al de un tambor.

Otros aspectos de importancia, desde el punto de vista de la consideración del ruido como agente contaminante, son:

- El sujeto receptor afectado es, principalmente, el ser humano, incidiendo en todos los ámbitos en los que se desenvuelve (laboral, hogar, ocio, descanso, etc.), así como sobre los intereses y derechos a él ligados (Tornos Mas, 1981), como es el caso, por ejemplo, del derecho a la propiedad de un bien influido por el ruido (García Macho, 2000). Pero no hay que olvidar también su influencia sobre otros seres vivos.
- Eliminación en la fuente: dado que se considera que la contaminación acústica acaba cuando cesa su producción, el modo más eficaz de luchar contra la misma es su eliminación en la fuente. Otras medidas que deben complementar a las anteriores se centran en el medio o sujeto receptor del ruido, como es el caso de la instalación de elementos de insonorización en viviendas expuestas, por ejemplo.
- La urbanidad, el civismo y la educación: se trata de valores que proyectan sus efectos y consecuencias sobre todos los ámbitos de la vida y, consecuentemente, sobre el de la producción de la contaminación acústica. Por ello, resulta positivo incidir en la educación de toda la población, especialmente de la estudiantil. Determinadas conductas ruidosas tienen su origen en la ausencia de estos valores en las personas que las realizan (Sosa Wagner, 1991).
- Componente técnico: en el ámbito de la contaminación acústica cobra una especial relevancia el factor técnico que implica el análisis del medio ambiente. Así, la caracterización, medición y regulación del ruido pasan por una terminología específica y requieren de la actuación de técnicos formados en la materia.

Finalmente, hay que añadir que las ventajas del empleo del nivel sonoro continuo equivalente como indicador o índice acústico (comentadas con anterioridad en el apartado 2.1.2.), aunque pueda no ser el óptimo, lo han situado a la cabeza de los descriptores del ruido ambiental, especialmente en el caso del debido al tráfico de vehículos, de la misma forma que la red de compensación A (dBA) es la más utilizada, al presentar una mejor correlación con la sensación subjetiva de percepción sonora que experimenta el receptor. Por ello, en este trabajo se va a emplear el  $L_{Aeq}$  como descriptor fundamental del ruido.

Se podría incidir de un modo más completo en los aspectos técnicos del sonido adentrándose aún más en el terreno de la física y la ingeniería, si bien la intención de este capítulo se limita a la de centrar el marco conceptual del objeto de estudio.

#### **2.2.4. Efectos nocivos de la contaminación acústica**

Diariamente estamos sometidos a la casi constante influencia del ruido sobre nuestras actividades; no hay más que reflexionar sobre cada uno de los ambientes que frecuentamos: la casa, el vecindario, la calle, los transportes, el trabajo, las actividades de ocio, etc. Se trata de una multiexposición (Sanz Sa, 1987) casi continua.

El ruido, como ya se ha comentado con anterioridad, está considerado como un agente contaminante que se propaga a través del aire, elemento éste integrante del concepto de ambiente (Alonso García, 1995 y Martín Mateo, 1992), por lo que la contaminación acústica no es sino un modo de contaminación ambiental (Cano Murcia, 2004), junto con la causada por los gases, humos, vertidos, etc. Su verdadera gravedad e importancia ambiental, desde un punto de vista antropocéntrico, radica en la relevancia de los efectos que produce su incidencia en el ser humano expuesto, en particular sobre su salud (Pérez Martos, 2003), sea cual sea el ámbito o escenario en el que éste se desenvuelva (en el trabajo, en el hogar, el ocio, etc.), poniendo de manifiesto por otra parte la relación entre salud y medio ambiente (Loperena Rota, 1991).

De este modo, la contaminación acústica resulta un creciente motivo de preocupación, especialmente en las áreas urbanas más densamente pobladas, justificado por las molestias que origina y por sus efectos sobre la salud, tanto físicos o fisiológicos como psicológicos (Pérez Martos, 2003), el comportamiento humano y las actividades de las personas. Prueba de ello, por una parte, es que gran parte de las denuncias y quejas en materia ambiental tienen como causa molestias provocadas por niveles sonoros excesivos y/o molestos, y por otra, el gran número de trabajos científicos existentes sobre los efectos perjudiciales causados por el ruido en las personas (Sanz Sa, 1987). Organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (1999) reafirman tales efectos, recogidos y valorados en documentos como *Guidelines for Community Noise*.

En su relación con las fuentes, es interesante la apreciación realizada por el MOPU (1983) del “*ruido de tráfico, como componente principal del ruido ambiental, considerado en general como una molestia, entendida ésta como una sensación o reacción adversa generada por algo considerado como desagradable y no deseado*”.

La exposición al ruido provoca sensaciones desagradables que se pueden considerar como molestias inducidas por el mismo. El grado de dicha molestia o desagrado producidos por la percepción del ruido y su nocividad dependen de diversos factores, relativos tanto a las características físicas del mismo, como son su naturaleza, intensidad, espectro de frecuencias, modalidad de emisión, tiempo de exposición, variación a lo largo del tiempo, etc., como a factores de carácter psicológico, social o económico. Especialmente, también dependen de las características y circunstancias de los propios sujetos receptores individuales: sensibilidad y tolerancia, edad, ocupación, carácter, estado anímico, estado de salud y otros aspectos fisiológicos, hereditarios o genéticos, enfermedades colaterales, así como hechos tan complejos como la educación recibida, los estilos de vida y el entorno habitual en el que ésta se desenvuelve, etc. (Sanz Sa, 1987 y Alonso García, 1995).

Como resultado de la conjunción de todos estas factores, no todos los individuos perciben el desagrado causado por el ruido de la misma forma, siendo prácticamente imposible prever de antemano la reacción e importancia de dicha molestia en un sujeto concreto y existiendo grandes variaciones en la respuesta como consecuencia de las diferencias psicosociales (Sanz Sa, 1987). Algunos estudios indican que por debajo de 45 dBA de nivel sonoro equivalente prácticamente ninguna persona se siente afectada; cuando el ruido alcanza los 55 dBA un 10 % de la población se manifiesta molesta, y cuando los niveles alcanzan los 85 dBA lo está el conjunto de la población (Sanz Sa, 1987).

Los efectos pueden clasificarse en dos categorías: agudos, provocados por emisiones de elevada intensidad sonora durante breves periodos de tiempo, que producen daños inmediatos, (sobre todo en los sujetos más débiles), y crónicos, debidos a exposiciones durante largos periodos de tiempo a niveles sonoros, en principio, no demasiado elevados (Talamo, 1989).

#### 2.2.4.1. Efectos fisiológicos y psicológicos<sup>4</sup>

Con la exposición a un ruido excesivo, cuando éste sobrepasa una determinada intensidad los efectos nocivos, molestias y trastornos más destacables que puede producir sobre la salud humana, desde el punto de vista fisiológico y psicológico, son variados:

---

<sup>4</sup> El contenido de este apartado se basa en las obras de diferentes autores: Alonso García, 1995; Antón Barberá y Soler Tormo, 1996; Unión Europea, 1996 b; de la Iglesia Huerta, 1999; Gómez-Villalba Ballesteros, 1996; Pérez Martos, 2003; Sanz Sa, 1987 y Seoáñez Calvo y Rodríguez Ramos, 1978.



- **En el órgano auditivo:** disminución de la capacidad de audición e hipoacusia, enmascaramiento de sonidos, perturbación de la localización espacial, dolores y trastornos patológicos de carácter accidental: pérdidas auditivas, zumbidos, silbidos, posible producción de trauma acústico (o traumatismos auditivos), alteración del equilibrio, vértigos, mareos, síncope.

La pérdida de audición o hipoacusia es el efecto fisiológico más destacable. Por lo general, la sensibilidad auditiva disminuye con la edad, resultando difícil determinar el grado en que los efectos acumulativos de la exposición al ruido ambiental pueden contribuir a la pérdida de audición. La hipoacusia es una lesión del aparato auditivo que se manifiesta como pérdida o desplazamiento del umbral, para algunas frecuencias. Puede ser leve (recuperable al cesar la exposición), moderada, marcada, severa (presenta dificultades para escuchar relojes y timbres) y profunda. Mientras que la hipoacusia es una pérdida parcial, la sordera implica una pérdida total de la facultad de oír.

El ruido puede producir un desplazamiento temporal o permanente del umbral de audición, de manera que cuando una persona entra en una zona muy ruidosa suele sufrir una pérdida de sensibilidad auditiva considerable. A este fenómeno se le denomina desplazamiento temporal del umbral auditivo inducido por el ruido, y, al regresar a un ambiente con un nivel de ruido normal, suele desaparecer al cabo de un cierto tiempo (desde horas a semanas). Esta recuperación depende de la intensidad del desplazamiento, el tipo de exposición y la sensibilidad del individuo. La exposición de nuevo a un ruido elevado antes de la recuperación total puede producir un desplazamiento permanente del umbral, dando lugar a una pérdida irreversible de audición (hipoacusia permanente), lesión auditiva causada por una exposición al ruido elevada, en intensidad sonora y tiempo.

La hipoacusia suele aparecer a frecuencias de 4.000 a 6.000 Hz, las cuales no son conversacionales, por lo que al principio no interfieren en la vida social del sujeto. La pérdida de audición provocada por el ruido se caracteriza por que no se produce de forma brusca, sino gradualmente durante un periodo de varios años. La velocidad y grado de pérdida dependen de la intensidad y duración de la exposición, así como de la propia capacidad auditiva del individuo.

Esta pérdida suele pasar inadvertida al principio, al no interferir en la vida cotidiana, pero si la exposición continúa, la pérdida o falta de recuperación se extiende a las frecuencias más elevadas y, posteriormente, a las más bajas, incluso conversacionales (“sordera social”). De este modo, cuando se agrava la situación da lugar a lo que se conoce como trastorno auditivo, el cual se evalúa en función de la dificultad de comprender el habla, manifestando una reducción del rango de frecuencias audibles, es decir, una sordera ante determinadas frecuencias, fundamentalmente las más bajas y altas. Existen discrepancias a la hora de establecer las relaciones entre los niveles de ruido y su duración, en cuanto al daño permanente del oído, si bien se tiende a aceptar la

hipótesis de que el trastorno auditivo asociado a una exposición al ruido está relacionado con la energía total del sonido, es decir, con el nivel de presión sonora equivalente ponderado A  $L_{Aeq}$  (dBA).

Exposiciones crónicas como las que se sufren en el interior de aeropuertos, en los rotativos de los periódicos, etc., pueden resultar muy perjudiciales. En el caso de los ruidos impulsivos de muy corta duración existe un riesgo considerable de trastorno auditivo, cuando los niveles sonoros alcanzan valores de alrededor de 140 dBA (Sanz Sa, 1987). En general, los sonidos más peligrosos son los de alta frecuencia, superiores a 1.000 Hz. En circunstancias extremas de exposición aguda se puede producir la rotura del tímpano, como consecuencia de sonidos impulsivos (120 ó 140 dBA).

La posible alteración de la función del equilibrio, produciendo vértigos, mareos, etc. se debe a que las afecciones al órgano del oído pueden repercutir en los receptores sensoriales del equilibrio, en él ubicados. Esta alteración es una sensación que algunas personas pueden experimentar, por ejemplo, al introducirse en el interior de una cámara anecoica, capaz de conseguir prácticamente la ausencia de sonido.

- Niveles indeseables de ruido pueden provocar muy diferentes afecciones sobre el **sistema nervioso central**, como alteración de las funciones intelectuales, pérdida de concentración y atención (perturbaciones de la memoria, tiempo de reacción...), generación de falta de voluntad, sentimientos de incomodidad, inseguridad, angustia o miedo, dolores de cabeza, estrés (potenciador de enfermedades de tipo nervioso e incluso cardiovascular, en las que el estrés es un factor determinante), tensión, sensación de fatiga, estados de cansancio, debilidad, ansiedad, obsesiones, nerviosismo, irritabilidad, etc. También puede causar trastornos y alteraciones del sueño (problemas para conciliarlo, sueño menos profundo, insomnio...) y de la capacidad de descanso y relajación, influencia sobre los estados anímicos e incluso depresión.

Ciertos estudios indican que la exposición a ruidos inesperados o desconocidos puede provocar respuestas reflejas en el organismo transmitidas a través del sistema nervioso vegetativo, dando lugar a una sensación de estrés. Por lo general, el sistema vuelve a su estado normal transcurridos unos minutos, si el ruido es transitorio, pero si éste es persistente o se repite con regularidad, pueden producirse alteraciones permanentes en los sistemas neurosensorial, circulatorio, endocrino, digestivo, etc. El ruido intermitente es más agresivo que el ruido continuo, y si la intermitencia es aperiódica (impredecible) el rechazo es mayor todavía. La razón de este desagrado es fácil de entender: el ruido impredecible posee cualidades diferentes cada vez que se produce, lo cual hace que la acomodación a él sea más difícil y requiera una mayor atención por parte del oyente. De este modo, el factor impredecibilidad se muestra en gran medida como determinante de los efectos adversos de la exposición al ruido que puedan suponer una mayor molestia, aunque los niveles sonoros no sobrepasen los recomendados por organismos como la OMS.

Los ruidos impulsivos pueden causar un sobresalto, aun tratándose de niveles bajos, y niveles elevados pueden causar vértigo y problemas de equilibrio.

Profundizando en las alteraciones del sueño y del descanso, hay que decir que, aunque existen numerosos estudios a respecto, aún no está claro del todo en qué medida contribuye el ruido a las alteraciones o interrupciones del sueño causadas por el ruido. Se sabe que la exposición al mismo puede ser la causa de dificultades a la hora de conciliar el sueño, o puede alterarlo, llegando incluso a despertar a un individuo dormido. Dichos estudios indican que la probabilidad de despertarse ronda el 30 % cuando el  $L_{Aeq}$  supera los 35 dBA. Se puede considerar que el nivel de ruido admisible para el sueño debe ser inferior a 40 dBA (García Rodríguez, 1988). Por otra parte, parece que durante la fase REM<sup>5</sup> el organismo es más insensible, al tratarse de la fase de sueño más profundo y con mayor actividad cerebral.

La frecuencia de los ruidos y la fluctuación del nivel sonoro también influyen en el sueño, así como la edad y el sexo de los individuos, siendo los niños y jóvenes los menos afectados, y los ancianos los que más. Ciertos datos indican que a su vez las mujeres son más sensibles al ruido durante el sueño que los hombres. En ocasiones, la presencia de determinados ruidos continuos y a determinadas frecuencias puede llegar a causar el efecto contrario al hasta ahora comentado, es decir, somnolencia.

Tampoco se conoce demasiado sobre los efectos tanto psicológicos como fisiológicos causados a largo plazo por las perturbaciones del sueño inducidas por la presencia de ruido, si bien es un hecho constatado científicamente que el ser humano necesita dormir (el sueño supone un proceso reparador) y descansar para mantener su salud en buenas condiciones. Por otro lado, determinados estudios indican una recuperación más lenta de enfermedades de tipo crónico en pacientes de hospitales con más ruido ambiental que otros.

Por último, se puede considerar al ruido como una alteración ambiental que, unida a otros factores del medio e individuales, puede producir fatiga crónica que lleve a trastornos de la salud no específicos.

- En el sistema circulatorio: aunque no está totalmente demostrado, parece que existen indicios de relación entre la exposición continua al ruido y el aumento de la presión arterial a causa de una pequeña vasoconstricción (con el consiguiente agravamiento de problemas de hipertensión), la aceleración del ritmo cardíaco (taquicardia) o deceleración (braquicardias), arritmias y anemias.

---

<sup>5</sup> Fase denominada "*Rapid Eye Movements*", que en español se traduce como "Movimientos Oculares Rápidos" (MOR).

- En el **aparato digestivo**: puede provocar trastornos digestivos y gastrointestinales, como pérdida de apetito, modificación de los movimientos peristálticos, vómitos, etc.
- Perturbaciones de la **función respiratoria** (ritmo y amplitud de la respiración) y **renal**.
- En el **sistema endocrino**: modificaciones en la actividad de las glándulas endocrinas, estimulando la liberación de hormonas.
- **Otras afecciones**: también puede provocar alteraciones del sistema neurovegetativo, disminución de la agudeza visual, alteraciones del metabolismo, etc.

Hay que destacar el carácter de interrelación que presentan muchos de estos efectos que el ruido puede producir sobre la salud humana, en numerosos casos interdependientes unos de otros.

#### 2.2.4.2. Efectos psicosociales

Los efectos del ruido sobre la vida en comunidad dan lugar a una serie de problemas afines en diferentes partes del mundo, los cuales se comentan a continuación:

- Una de las consecuencias de estos efectos perturbadores del ruido es su influencia sobre la comunicación hablada, base del normal entendimiento y la convivencia humanos. Dicha **interferencia en la comunicación oral** se caracteriza por un fenómeno de enmascaramiento en el que uno o varios de los sonidos simultáneos vuelven inaudibles a los demás. Cuanto más elevado sea el nivel sonoro del ruido y más energía contenga en las frecuencias del habla, mayor será la proporción de sonidos hablados inaudibles para el oyente, aumentando la ininteligibilidad, es decir, la parte de la conversación no entendida correctamente.

El nivel sonoro medio de una conversación reposada en un recinto cerrado ronda aproximadamente los 55 dBA (Sanz Sa, 1987), siendo posible mantener hasta un nivel continuo equivalente ( $L_{Aeq}$ ) de 65 dBA una conversación normal a una distancia entre interlocutores de 1 m (MOPU, 1983). Ésta se vuelve cómoda y sin esfuerzo si el nivel desciende a 45 dBA, observándose que a medida que el nivel de ruido aumenta las personas tienden a elevar el nivel de voz para superar el efecto de enmascaramiento, lo que supone un mayor esfuerzo, condiciones en las que, a distancias de 5 m entre interlocutores, se hace obligado gritar para hacerse entender, y con 75 dBA se impide transmitir cualquier mensaje. Así, para alcanzar una inteligibilidad del 100 % es necesario que la voz supere en 10 dBA el nivel de ruido. Si es inferior en 10 dBA, la inteligibilidad disminuye al 95 % (Sanz Sa, 1987).

Esta afección resulta de especial importancia en actividades docentes y educativas, obligando a un mayor esfuerzo al hablante (profesor, conferenciante, etc.) y a un aumento de la atención por parte de los oyentes, y suele ser causa de molestias e incluso de accidentes laborales y domésticos (Sanz Sa, 1987).

Ya en 1978 se realizaron estudios sobre cómo el ruido del tráfico puede interferir significativamente en la actividad educativa, demostrando que los escolares que seguían sus estudios en escuelas con niveles de ruido exterior elevados presentaban un aprovechamiento en el aprendizaje claramente inferior a los de escuelas con niveles menores (Lukas y Swing, 1978). Aparte de los efectos de enmascaramiento que dificultan la enseñanza, se ven afectados también la adquisición del lenguaje y el desarrollo de la atención (Sanz Sa, 1987). En las escuelas de preescolar estos aspectos comunicativos resultan de gran importancia, pues corresponden a etapas en las que los niños aprenden a pronunciar sílabas y palabras complejas por imitación (MOPU, 1983).

- Por otra parte, los efectos del ruido se manifiestan también sobre el desarrollo de las actividades humanas. Ya se ha comentado el caso de los centros educativos, pero también resulta de gran importancia su incidencia en el rendimiento y productividad en los centros de trabajo, al dificultar la comunicación y el aprendizaje, así como causar enfermedades laborales. Las implicaciones económicas que presentan las actividades laborales son las que han impulsado en gran medida el estudio de los efectos del ruido sobre la salud, en concreto la de los trabajadores, respecto a la que existe bastante normativa desarrollada.

Parece que el ruido continuo no tiene apenas efectos en la realización de tareas mecánicas o repetitivas, si bien los niveles sonoros moderados tienden a aumentar el estado de alerta durante la realización de las mismas. Cuando las tareas implican un grado de actividad intelectual, algunos estudios han encontrado que la exposición al ruido puede producir una mezcla de efectos positivos y negativos en el desempeño de las mismas, afectando negativamente sobre labores que requieren memorización y resolución de problemas simultáneamente, y sin embargo mejorando el rendimiento en las fases de cálculo. Así, las tareas de vigilancia, asimilación de información y procesos analíticos se revelan particularmente influidas por el ruido. El efecto de corte que produce en tareas de aprendizaje puede inducir a la distracción y perturbar la concentración, disminuyendo así el rendimiento (Sanz Sa, 1987).

- Además, puede provocar conflictos personales, disputas o incluso conductas delictivas, enfrentamientos y problemas de convivencia familiar y vecinal, perturbación de la intimidad y privacidad en el interior de las viviendas, etc. Hay evidencias de que el exceso de ruido tiene efectos sobre las conductas sociales (OMS, 1999), por ejemplo disminuyendo las conductas de prestación de ayuda, o incrementando las conductas ofensivas en individuos predispuestos a la agresividad.

En relación con la citada interdependencia que pueden presentar muchos de los efectos del ruido sobre la salud, como ejemplo se puede considerar cómo la interferencia con la comunicación oral puede producir fatiga y molestia, la propia fatiga puede aumentar la molestia, y ambas la falta de concentración.

La duración del ruido es importante a la hora de evaluar la respuesta subjetiva de la población al mismo, y su habitual variabilidad temporal (cambiando sus características) provoca tensiones que obligan a que en el organismo de los sujetos receptores se desencadenen reacciones traducidas en un esfuerzo continuo de adaptación al ruido (Sanz Sa, 1987). Este hecho pone en entredicho hasta cierto punto la afirmación de que el organismo se acaba habituando al ruido, si bien no es descartable la idea de que los ciudadanos pueden llegar a manifestar una especie de tolerancia ante las molestias de la contaminación acústica, más marcada durante el periodo diurno, incidiendo en la idea de la aceptación social del ruido como un componente inherente e ineludible de la vida cotidiana de las sociedades modernas (García Sanz y Javier Garrido, 2003). Como complemento de las mediciones físicas, se han desarrollado tests subjetivos para evaluar la respuesta humana ante el ruido (Sanz Sa, 1987). Lo que sí está claro es que las modificaciones biológicas y reacciones psicológicas aún no son bien conocidas en la actualidad.

Por otra parte, en función de los sujetos receptores los efectos pueden variar, por ejemplo, según los grupos de población (los niños, jóvenes, personas de edad y enfermos son más vulnerables), los distintos grupos culturales, etc.

Al evaluar los ruidos cabe hacer la distinción entre fuentes propias y ajenas, ya que el efecto de molestia de una misma fuente es distinto, según el caso, no sólo por su mayor o menor aceptación subjetiva, sino también por el control de su ocurrencia y modo de utilización.

A la vista de lo expuesto, el ruido ambiental puede llegar a representar un factor psicopatógeno destacado en el seno de nuestra sociedad y una fuente permanente de alteración del bienestar, descanso, hábitos en cuanto a la utilización del tiempo de ocio, del ritmo habitual y normal desarrollo de la vida de las personas, en definitiva, una perturbación de la calidad de vida de los ciudadanos, de acuerdo con las directrices de la Organización Mundial de la Salud (1999). Según señaló Pérez Martos (2003), la relevancia de la incidencia de este agente contaminante sobre la salud de las personas justifica su consideración en el ámbito de la Salud Pública.

En general, no resulta fácil establecer una relación causa-efecto directa entre el ruido y el daño, pues en la exposición al mismo interfieren gran cantidad de factores, unos físicos determinados por el agente causante de la molestia (el ruido), y otros no sólo físicos y psíquicos del agente receptor, sino también psicosociales, influidos tanto por el individuo como por el entorno social del afectado (MOPU, 1983). Para intentar evaluar su afección a la población las ciencias médicas utilizan las relaciones dosis-efecto (según se contempla en la

*Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*) si bien esta conexión es más difícil de hallar que en otros tipos de contaminación, a causa de que sus consecuencias están en gran medida condicionadas por los sujetos receptores.

En ocasiones, dicha conexión entre el ruido y la enfermedad no está en relación directa con la molestia acústica percibida por el sujeto afectado. Los sonidos sólo son audibles entre 20 y 20.000 Hz pero, por ejemplo, aunque los infrasonidos (de frecuencia menor a 20 Hz) no provoquen sensación sonora en el ser humano, sí producen efectos patológicos, y los ultrasonidos (por encima de 20.000 Hz) por encima de 180 dBA pueden causar la muerte, aunque habían sido considerados inocuos hasta fechas recientes (Iriarte Irrurzum, 1987).

Desde el punto de vista sanitario, para evaluar el riesgo asociado al ruido en el ambiente laboral se suele utilizar el concepto de dosis de ruido, definido como la cantidad de energía sonora que un oído humano normal puede recibir durante la jornada laboral para que el riesgo de pérdida auditiva al cabo de la misma (8 horas) esté por debajo de un valor establecido. Es decir, la dosis de ruido es un  $L_{Aeq}$  con duración de 8 horas (Sanz Sa, 1987).

En cuanto a la prevención de las pérdidas de capacidad auditiva que pudieran sufrir los trabajadores expuestos debido al ruido existente en el ambiente de trabajo, los reconocimientos médicos suelen incluir, como mínimo, una anamnesis (revisión del conjunto de los datos clínicos relevantes del historial del paciente) y una otoscopia (exploración del órgano del oído) combinada con un control audiométrico (audiometría de tonos puros para la determinación de umbrales de audición por conducción aérea, efectuada mediante audiómetros manuales o automáticos), según contempla nuestra normativa nacional.

#### 2.2.4.3. Efectos sobre otros seres vivos

No hay que olvidar que, de igual modo que para las personas, el ruido también altera el sosiego y ritmo de vida de la fauna del lugar, produciendo efectos nocivos similares sobre la misma, cuya consideración queda expresa en la legislación de conservación de la naturaleza (el art. 38.4 de la *Ley 4/1989, de conservación de los espacios naturales y de la flora y fauna silvestres*<sup>6</sup>, tipifica como infracción administrativa “la emisión de ruidos que perturben la tranquilidad de las especies en espacios naturales protegidos”) y debe encontrarse contemplada en los procedimientos de evaluación de impacto ambiental. El ruido derivado de las actividades humanas puede llegar a ser altamente perjudicial para especies animales particularmente sensibles, como algunos mamíferos que pueden padecer efectos similares a los humanos, aves en periodo de cría, etc. Por ejemplo, a causa del ruido de los aeropuertos, existen casos de disminución de la producción de leche en el ganado

---

<sup>6</sup> Derogada por la *Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad*.

vacuno y de huevos en las granjas avícolas situadas en sus proximidades, y algunas especies, como los visones, son capaces de matar a sus crías ante fuertes ruidos (Despax, 1990). Por otro lado, determinados mamíferos marinos pueden ver interferidos sus sistemas de comunicación. También, se han realizado experimentos que apuntan hacia la sensibilidad de las plantas a los sonidos.

En cualquier caso, las perturbaciones no son tan graves como las contempladas al analizar la contaminación de las aguas o de la atmósfera, en tanto que no hay una acumulación y persistencia de efectos que se incorporan a los ciclos ecológicos, ni su trascendencia es tan notoria y generalizada para las distintas formas de vida. La consideración del ruido como factor de distorsión ecológico radica en que el ser humano está fisiológicamente caracterizado para habitar un medio relativamente tranquilo en el que los niveles sonoros no alcancen excesivas cantidades (Martín Mateo, 1992).

#### 2.2.4.4. Otros efectos del ruido

Finalmente, cabe mencionar otros efectos derivados de la contaminación acústica con implicaciones ambientales e incluso económicas, como es la disminución del valor de los bienes sobre los que incide. Este es el caso de la depreciación de la propiedad (bienes inmuebles, etc., que nadie está dispuesto a comprar ante condiciones acústicas desfavorables del entorno), la reducción del valor turístico de determinados lugares, la perturbación del paisaje (sonoro) urbano e incluso daños en edificaciones y monumentos si la intensidad y periodicidad sobrepasan determinados límites: la resonancia produce aumentos de la amplitud de las oscilaciones sobre el material sometido a este fenómeno, llegando en ciertos casos a la rotura sin deformación plástica o a la fatiga (rotura de un material por acción de una oscilación variable aplicada durante un tiempo suficiente) (Seoáñez Calvo y Rodríguez Ramos, 1978 y Alonso García, 1995).



### **3. EL RUIDO COMO PROBLEMA AMBIENTAL URBANO**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

La evolución de los países “desarrollados” experimentada en las últimas décadas ha venido caracterizada por un crecimiento de la actividad industrial y un aumento continuado del volumen de tráfico en todos los medios de transporte. Aunque en términos generales se considera que se ha elevado la calidad media de vida de los ciudadanos, por otra parte se está viendo perjudicada por el incremento de la contaminación ambiental y, en especial, del ruido. El medio urbano acoge una forma de vida colectiva, en la que además se desarrolla una especial relación del individuo con su entorno (Ortega Álvarez, 1995). En este marco, los efectos del ruido sobre la vida en comunidad, *i. e.* la interacción ruido-sociedad, dan lugar a problemas afines en diferentes partes del mundo.

La ciudad de Madrid es una gran metrópoli definida por un tejido urbano y unas redes de comunicaciones interior, periférica y de acceso características, fruto de su localización geográfica y devenir histórico. Su medio urbano presenta una morfología y topografía del terreno particulares marcadas fundamentalmente por los tipos y densidad de las edificaciones así como la configuración de la red viaria, los cuales van a dar sustento a las diferentes actividades que se desarrollan en él, según los usos del suelo. En Madrid residen más de 3 millones de habitantes (INE, 2005) de muy diversas procedencias, que dan vida a esta intrincada “ciudad de servicios”. La Administración municipal se enfrenta en los últimos tiempos a los problemas del mundo urbano moderno, entre los que cada vez cobran más importancia los ambientales a causa de su influencia sobre el bienestar, la calidad de vida y la salud de los ciudadanos, desde una perspectiva de desarrollo integrado y sostenible (*Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo* de 1992, de las Naciones Unidas - *Programa 21*).

La relevancia de la incidencia que este agente contaminante en concreto tiene sobre la salud de las personas justifica su ubicación en el ámbito de la Salud Pública en el sentido más amplio de este concepto (Pérez Martos, 2003). Todos los posibles daños, tanto físicos como psicológicos, producidos por el ruido se traducen en unos costes o gastos sociales elevados, pues a los derivados de la atención médica hay que añadir otros, como la disminución del rendimiento del trabajo, las bajas por enfermedades profesionales, etc. Por otra parte, la sanidad es uno de los sectores cuya dotación presupuestaria es más elevada, a la vez que controvertida, de modo que invertir en el bienestar y calidad de vida de los ciudadanos, de uno u otro modo, resulta siempre rentable social y económicamente. A este respecto, según se verá en el capítulo 4., el control sanitario de los ruidos corresponde a los municipios.

Junto al cambio climático, la contaminación acústica es uno de los asuntos medioambientales más importantes y que más protagonismo ha adquirido en los últimos años (Pastor Sainz-Pardo, 2008). Dentro de los problemas ambientales urbanos, éste es uno

de los que ha ido cobrando un interés creciente, ante el hecho, por ejemplo, de que durante los últimos veinte años la cantidad total de energía acústica producida se ha duplicado en los países industrializados miembros de la OCDE, aumentando especialmente en las áreas urbanas densamente pobladas (Comunidad de Madrid, 1999). Este tipo de contaminación incide negativamente en gran parte de los bienes, derechos, valores y principios protegidos por nuestro ordenamiento jurídico (Pérez Martos, 2003), y no hay que olvidar que algunos de sus costes, en principio económicos, tienen una traducción social clara, como es el caso de la depreciación de las viviendas y edificaciones situadas en las proximidades de fuentes de ruido.

Sin embargo, no es algo exclusivo de nuestros días, sino que se trata de un problema antiguo en la civilización moderna (Cano Murcia, 2004). Existen numerosos escritos que, ya en la época romana, hacen referencia a las molestias causadas por el ruido de determinadas actividades humanas (Sanz Sa, 1987), así como por el rodar de los carros pesados sobre el pavimento de piedra en la ciudad de Roma (Behar, 1994). Tampoco es nueva la puesta en práctica de medidas de lucha contra este contaminante: en el siglo XV se promulgó un reglamento municipal en Berna que vetaba circular con carretas en mal estado que produjesen ruidos que molestaran a la población, y en Zurich, en el siglo XVI, se prohibió hacer ruido en las calles por la noche.

Socialmente, el ruido es una de las formas de agresión al medio ambiente que preocupa cada vez más tanto a los ciudadanos como a los poderes públicos, demanda de la cual se ha hecho eco el ordenamiento jurídico. Una encuesta realizada en 1982 entre los ciudadanos de la entonces CEE sobre contaminación del medio ambiente, indicaba que el ruido era el segundo problema en importancia, ya en aquel momento. En 1989, las quejas de los españoles ante el Defensor del Pueblo por este motivo fueron 267. Según fuentes del Parlamento Europeo, en Inglaterra y Gales el número de las mismas se duplicó en el decenio de 1975 a 1985. En Francia, antes de 1948 sólo el 23 % de los encuestados se declaraban molestos por el ruido, mientras que en 1960 el número llegaba ya al 50 % (Leroy-Deval *et al.*, 2000).

La *Encuesta sobre Calidad de Vida en España*, realizada en 1979 por la Dirección General del Medio Ambiente del MOPU, indicaba que, ya entonces, los ruidos molestos constituían el 3.<sup>er</sup> problema en las grandes ciudades, el 1.º en las ciudades medias y el 4.º en los grandes pueblos. Los daños o efectos nocivos de este agente contaminante son múltiples, tanto sanitarios y sociales, como ambientales: perjudica la salud física y psíquica de las personas y su calidad de vida, perturba la tranquilidad y el sosiego del ser humano tanto a nivel individual como colectivamente, ocasiona desorden, disminuye el valor de los bienes sobre los que incide, etc. De este modo, la contaminación acústica se ha ido configurando, según afirmó Pérez Martos (2003), como uno de los problemas actuales de la sociedad urbana, siendo en la actualidad motivo de gran número de quejas y protestas, reclamaciones o reivindicaciones de los ciudadanos, y configurándose su evaluación como

un problema complejo. Estamos, en suma, ante un problema de primera magnitud que concita la atención de múltiples actores (Pastor Sainz-Pardo, 2008).

Su tratamiento no resulta sencillo a causa de su transversalidad en diferentes ámbitos sectoriales, la constante multiplicación de los focos emisores, la heterogeneidad de las actividades generadoras de ruido (Alonso García, 1995), la complejidad de las técnicas de control requeridas y, especialmente, su subjetividad y dependencia del nivel sensitivo de cada individuo, elementos que hacen difícil establecer una relación directa entre el ruido y el daño, así como dificultan la actuación coordinada de los poderes públicos encargados de su regulación y gestión. Según señala Pinedo Hay (2001), éstos suelen comenzar a intervenir únicamente cuando las molestias son bien patentes o afectan a grandes colectivos de la sociedad, produciéndose un desamparo administrativo o inactividad en la mayoría de los restantes casos. Por otra parte, hasta tiempos recientes muy pocos ayuntamientos contaban siquiera con un número significativo de sonómetros con los que ejercer sus competencias. Además, no es lo mismo considerar el ruido ambiente exterior que el del interior de las edificaciones e infraestructuras (viviendas, puestos de trabajo, comercios, industrias, etc.), aunque en muchas ocasiones el ruido percibido dentro de las viviendas, por ejemplo, proceda predominantemente de fuentes emisoras localizadas en el exterior de las mismas, lo cual incita a reflexionar aún más sobre la dimensión del problema de la contaminación acústica, sus facetas y sus múltiples frentes de acción.

En el seno de esta interacción ruido-sociedad, en ocasiones los ciudadanos pueden incluso a llegar a manifestar una especie de tolerancia ante las molestias de la contaminación acústica, más marcada durante el periodo diurno, incidiendo en la idea de la aceptación social del ruido como un componente inherente e ineludible de la vida cotidiana de las sociedades modernas (Cano Murcia, 2004). Pero se trata de un problema que se manifiesta a todas horas del día y en todos los ámbitos en los que el ser humano participa de forma activa o pasiva: lugar de trabajo, de residencia, lugares de tránsito, de ocio y recreo, etc. (*vid.* figuras 3.1. y 3.2.).

Figuras 3.1 y 3.2. La presencia de fuentes de ruido es casi constante en el ámbito urbano.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

En los espacios urbanos de convivencia común, como las vías públicas, zonas verdes, dotaciones deportivas y culturales, etc., concurre la influencia de multitud de fuentes sonoras, unas más o menos próximas al área considerada y otras incluso presentes en la misma. Pero en general, el incremento de la densidad de población en las zonas urbanas y la mecanización de la mayor parte de las actividades no son los únicos factores incidentes. Como se detallará más adelante en el apartado 3.2. relativo a las fuentes de ruido, entre ellas, la predominante en el medio urbano corresponde indiscutiblemente al tráfico rodado (MOPU, 1983), es decir, los vehículos a motor que circulan por las calles y carreteras, que transportan personas o mercancías.

Se trata de una fuente cuya gestión resulta compleja de abordar: el desarrollismo urbano ha venido ligado en todo el mundo a una dependencia clara de los automóviles como medios de transporte, incorporándose a los hábitos de los ciudadanos, a la par que ha ido creciendo a su vez la dependencia respecto de los combustibles fósiles. Se ha llegado a un punto en el que parece que las ciudades occidentales están diseñadas pensando más en los coches que en sus propios ciudadanos, y en el mundo “industrializado” al transporte público le suele resultar complicado equipararse en importancia al privado. Parte de las ciudades se trazaron en la etapa preindustrial, de modo que estaban poco o nada adaptadas al tráfico automovilístico (*vid.* figuras 3.3. y 3.4). Incluso con posterioridad, los diseños urbanísticos han quedado desbordados ante la voracidad del “espacio-máquina”.

Figuras 3.3. y 3.4. Los cascos urbanos antiguos están peor adaptados al tránsito automovilístico, recurriendo en ocasiones a prohibir su acceso y a la declaración de zonas peatonales.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

El estudio del tráfico como fuente entraña una dificultad que radica tanto en los aspectos técnicos del funcionamiento de los vehículos como en lo que respecta a su flujo, de manera que la emisión sonora varía notablemente en zonas con abundantes cruces y semáforos, donde se producen frecuentes aceleraciones y desaceleraciones, alternando

cortos periodos de movimiento con otros completamente estacionarios, en comparación con las situaciones de tráfico fluido.

Como más adelante se verá, al tráfico le siguen las fuentes sonoras debidas a determinadas actividades comunitarias y establecimientos de pública concurrencia y/o funcionamiento nocturno, es decir, el denominado “ruido del ocio” (Pinedo Hay, 2001), ya sea en locales o en la vía pública, en lo que ha venido en denominarse coloquialmente como el fenómeno del “botellón”. La postura del vecindario afectado por los mismos, que ve con impotencia cómo un fin de semana tras otro su derecho al descanso y a la intimidad de su domicilio se ven perturbados por todo tipo de ruidos procedentes de locales, vehículos que acuden a éstos, gente en la calle, residuos acumulados en las aceras y portales, etc., no siempre es atendida por la Administración local correspondiente, y suele enfrentarse a los intereses empresariales de los titulares de los establecimientos. A este respecto, hay que añadir que las ordenanzas municipales han desempeñado hasta ahora un importante y casi único papel en el control de los ruidos provocados en el ejercicio de actividades molestas de la más diversa índole, especialmente en zonas que por su especial idiosincrasia urbana requieren de una singular intervención o protección (Alonso García, 1995).

Existe también una cierta aportación a los niveles sonoros urbanos, aunque ligera en comparación con el tráfico rodado, debida a la presencia de peatones en la vía pública (*vid.* figura 3.5.) y a las actividades en ella desarrolladas. Este hecho entronca con la controvertida afirmación de la particular idiosincrasia y carácter bullicioso de los “pueblos latinos”, en particular el español, en cuanto al nivel sonoro alcanzado en las conversaciones e interlocuciones cotidianas. La explicación de este fenómeno pasa por cuestiones culturales y conceptos tales como una mal entendida tolerancia y otros muchos factores (Rebollo Puig, 2004). A este respecto, hay que añadir que, por ejemplo, a nivel vecinal, el que sufre los efectos de la contaminación acústica tiende a ser considerado como el “aguafiestas” o “aburrido” (Pinedo Hay, 2001).

La compleja y diversa dimensión del problema se puede manifestar también, por ejemplo, en que el ejercicio de algunas actividades provoca de forma indirecta molestias por ruidos derivados no en sí de la propia actividad, sino de los medios que se emplean para que ésta pueda llevarse a cabo. Este es el caso de los producidos por el tráfico de camiones que tienen que desplazarse a través de vías urbanas para alcanzar su destino (*vid.* figura 3.6.).

Los elementos constructivos que configuran la ciudad condicionan que la combinación de la gran variedad de fuentes sonoras existentes generen campos acústicos complejos y difíciles de determinar. Por ejemplo, las edificaciones actúan como grandes barreras paralelas situadas a ambos lados de las calles (*vid.* figura 3.7.) que reflejan el ruido del tráfico de nuevo hacia la calzada, creando un espacio semireverberante y evitando una disminución rápida de los niveles sonoros, que se revelan homogéneos con la altura. En la zona inmediata a la fachada, por combinación del nivel sonoro incidente y el reflejado por la misma, se experimenta un incremento del mismo de 2,5 a 3 dBA respecto del que se

registraría en ausencia del edificio. Sin embargo, los niveles sí se ven notablemente reducidos en la parte posterior de los edificios. Con las edificaciones de nuestro país, con alturas máximas que no superan los 10 ó 12 pisos, su influencia debe tenerse en cuenta cuando la anchura de la calle sea inferior a 30 ó 40 m.

Figura 3.5. La presencia de viandantes también influye en los niveles sonoros.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

Figura 3.6. La circulación de camiones y otros vehículos pesados a través de áreas urbanas suele realizarse en la medida de lo posible por vías rápidas y anchas, dada su dificultad de tránsito y maniobra.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

Los avances logrados hasta ahora en lo relativo a los ruidos del tráfico han sido limitados, pues, aunque se han ido reduciendo las emisiones mediante soluciones técnicas (e. g. vehículos eléctricos, híbridos, etc.) y el parque automovilístico urbano se ha ido renovando (desapareciendo los vehículos más viejos y ruidosos), sigue aumentando el número de efectivos, de modo que no cabe esperar que los grandes éxitos futuros provengan de la propia industria de la automoción.



Figura 3.7. La edificación de determinadas calles puede generar espacios semireverberantes, dificultando la atenuación de los niveles sonoros, los cuales se revelan homogéneos con la altura.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

Ello ha motivado que los avances resulten en general más perceptibles en cuanto al aislamiento acústico de las edificaciones, en vías de aliviar la situación de este problema. Así, una alternativa frecuente ha sido intentar recurrir en primera instancia a una adecuada situación y orientación de los edificios (*vid.* figuras 3.8. y 3.9.) y una óptima distribución interior. El objeto de este planeamiento consiste básicamente en establecer una barrera cercana a la fuente de ruido compuesta por los edificios menos críticos y locales de uso comercial, tales como tiendas, supermercados, oficinas, bancos, etc. que apantallen y separen de la vía los más vulnerables: hospitales, escuelas, residencias o viviendas. Se debe intentar proteger no sólo el frente de los edificios, sino también su parte lateral. Con un diseño adecuado de la planta del edificio es posible también utilizar inmuebles residenciales como barreras acústicas. En ocasiones, se han ubicado cerca de la vía de circulación los garajes y se ha elevado gradualmente la altura de los edificios siguientes. Algo similar sucede con las viviendas unifamiliares adosadas en forma de “L”. También se ha incidido en la ubicación de patios, así como en la protección del medio ambiente interior, por medio de una distribución interior de habitaciones adecuada, por ejemplo, en la que las estancias menos sensibles confronten el foco de ruido, sin que este diseño acústicamente adecuado encarezca necesariamente la construcción (MOPU, 1983). Estas medidas han venido a complementarse con las propiedades de los materiales constructivos de las fachadas y la instalación de ventanas aislantes.

A todo ello hay que añadir que en España se agravan los problemas a causa de la benévola “climatología”, que induce a mantener abiertas las ventanas buena parte del día durante los meses más calurosos. También habría que considerar cuál es la reducción típica ofrecida por nuestras viviendas, en comparación con las de otras ciudades.



Figuras 3.8 y 3.9. Edificios residenciales ubicados en las proximidades de una gran vía de circulación, con las fachadas principales orientadas hacia ella y presentando una gran superficie de exposición de áreas sensibles al ruido en la dirección de incidencia del mismo (a pesar del apantallamiento “verde”).



Fuente: Martínez Suárez, 2004.

En cualquier caso, los agentes causantes de la contaminación acústica no deben considerarse solamente en relación con los niveles emitidos, sino también con la forma en que éstos son producidos (naturaleza, espectro de frecuencias, etc.), e igualmente debe tenerse en cuenta todo comportamiento que suponga una perturbación de la convivencia y que afecte de manera inmediata a la tranquilidad o a los derechos de otras personas, o pongan en peligro su seguridad o salud, así como produzcan un daño o deterioro del medio ambiente.

Como es de esperar, la verdadera mejoría deberá llegar, sobre todo, de la mano de las políticas. A este respecto, hay que tener en consideración las potestades de la Administración local dentro de su ámbito de actuación. En el art. 26.1.d de la *Ley 7/1985, Reguladora de las Bases del Régimen Local (LRBRL)* se exige a los municipios de más de 50.000 habitantes la prestación obligatoria del servicio de protección del medio ambiente. Asimismo, la *Ley 14/1986, General de Sanidad* enumera en su art. 42, como responsabilidad mínima de los entes locales, el control del obligado cumplimiento de las normas y planes sanitarios en relación con la contaminación atmosférica, ruido y vibraciones. Y la *Ley 26/1984, General para la Defensa de los Consumidores y Usuarios*<sup>7</sup>, en su art. 41 considera a los entes locales como capacitados para llevar a cabo la inspección de los productos o servicios de uso o consumo común, ordinario y generalizado, en cuanto a sus condiciones de higiene, sanidad y seguridad. Este conjunto de facultades configura la dimensión de la tutela pública de la calidad de vida urbana (Ortega Álvarez, 1995 y Pinedo Hay, 2001).

---

<sup>7</sup> Derogada por el Real Decreto Legislativo 1/2007, de 16 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General para la Defensa de los Consumidores y Usuarios y otras leyes complementarias.

## **3.2. PRINCIPALES FUENTES DE RUIDO URBANO**

Lo anteriormente expuesto lleva a la consideración de la complicada e interconectada casuística que presenta la dimensión de este problema socio-ambiental, en lo relativo a las múltiples y variadas fuentes sonoras o focos emisores de niveles sonoros existentes en el medio urbano (Sanz Sa, 1987 y Alonso García, 1995), de diversa índole y naturaleza, que van a ser sintetizadas en este apartado. Frecuentemente, un entorno acústico está compuesto por una serie de sonidos que provienen de muchas y variadas fuentes cuya ubicación (unas más cercanas y otras más alejadas), distribución y combinación, conformando el ruido total del lugar, va cambiando a lo largo del tiempo, dificultando su caracterización y sometiendo al ciudadano a una multiexposición diaria (Sanz Sa, 1987).

Todos los agentes contaminantes del medio ambiente tienen su origen en las fuentes que los producen (Domper Ferrando, 1992). En el caso de la contaminación acústica, se podría hablar de una clara predominancia de fuentes antropogénicas, frente a las naturales. Se puede diferenciar entre ruidos de origen interior (generados en establecimientos destinados a vivienda, trabajo, recreo, etc., que generalmente no llegan a percibirse fuera de ellos), y los de origen exterior, que suelen transmitirse además al interior de establecimientos y locales, configurando el denominado ruido ambiental (Alonso García, 1995), compuesto generalmente de un ruido de fondo continuo, al que se suman un conjunto de ruidos fluctuantes e/o impulsivos más intensos e importantes, provenientes de varias fuentes (Sanz Sa, 1987).

En las áreas urbanas el ruido de fondo suele estar provocado por la circulación de vehículos, y en las zonas fuertemente industrializadas suele ser debido precisamente a las propias actividades industriales, en las que multitud de fuentes individuales de ruido están repartidas entre las diversas fábricas del lugar, sin que necesariamente ninguna de ellas emita un nivel elevado, pero produciendo en conjunto un ruido continuo en toda la zona.

Las principales fuentes sonoras son citadas en la mayoría de la normativa aplicable (*vid.* capítulo 4.). Algunas de ellas ya se han mencionado en el apartado anterior. A continuación se presentan las más importantes:

### **3.2.1. Tráfico rodado**

La fuente de emisión unánimemente considerada como predominante en el medio urbano (Sanz Sa, 1987) y responsable de la mayor parte de la contaminación, no sólo acústica sino también atmosférica, es el tráfico, especialmente el rodado, junto con el ferroviario y aéreo. Ello es debido tanto a su nivel sonoro (aunque en ocasiones pueda no ser la fuente más ruidosa), como a su extensión y duración. El ruido generado por el tráfico rodado de vehículos a motor o de tracción mecánica es el protagonista durante el periodo

temporal diurno (MOPU, 1983 y Ayto. de Madrid, 1999), especialmente durante los días laborables, y es objeto de una amplia atención por parte de la normativa.

El problema que se vive en las ciudades españolas es preocupante, puesto que tanto los niveles de densificación como los de motorización se han producido en un período de tiempo relativamente corto, no habiendo evolucionado de forma paralela con los procesos de planificación urbana (García Sanz y Javier Garrido, 2003), los cuales no han tenido en cuenta hasta hace relativamente poco tiempo criterios ambientales y, en concreto, acústicos.

En parte, las características de esta fuente sonora vienen determinadas por el amplio parque automovilístico y su proximidad al ciudadano. El ruido que generan, percibido desde una cierta distancia a una carretera o autopista, aparenta ser continuo y da la impresión de estar generado por una fuente sonora estática y relativamente continua. Sin embargo, en las proximidades de la vía se aprecia cómo éste tiene un carácter intermitente y aleatorio (MOPU, 1983) donde cada vehículo produce cierto ruido al pasar, es decir, está compuesto por aportaciones de fuentes sonoras simultáneas con distintos espectros y características de emisión, tales como vehículos pesados (camiones, autobuses...), turismos, motocicletas, etc., en los que además existen distintas partes emisoras de sonido y, sumados todos, produce la sensación de tratarse de un ruido continuo. Por otro lado, cuando un vehículo se acerca a un observador fijo, éste va a percibirlo como un ruido que sobresale del fondo o ambiente de la carretera, y que va aumentando a medida que se aproxima, alcanzando un máximo al pasar ante él, y descendiendo paulatinamente según se aleja. A este fenómeno se le llama firma sonora, y se da con cualquier otra fuente móvil bajo estas mismas circunstancias (trenes, aviones, etc.). Por todo ello, para su caracterización, además de conocer su espectro energético hace falta evaluar su fluctuación en el tiempo. Los aspectos que requieren una mayor consideración son los siguientes:

- Los niveles sonoros emitidos por los vehículos de motor aislados, particularmente los automóviles, camiones, autobuses, ciclomotores y motocicletas, no deben exceder de los permitidos, especialmente en lo relativo a la mecánica: condiciones de funcionamiento del motor (admisión, combustión y escape) y al sistema de refrigeración del mismo. En rodamiento hay que considerar la transmisión de potencia del motor a las ruedas (eje de tracción, caja de cambios, etc.), la carrocería y demás elementos capaces de producir ruidos y vibraciones, la interacción de los neumáticos con el pavimento (especialmente a velocidades altas, con firme mojado o en vehículos con más de dos ejes), el ruido aerodinámico del vehículo al desplazarse, los sistemas auxiliares (frenos, bombas, etc.), así como una serie de fuentes ocasionales, como piezas semisueitas, portaequipajes y carga, etc. (MOPU, 1983). La predominancia de unas u otras fuentes depende en gran medida de la velocidad del vehículo: a velocidades bajas destaca el ruido del tren de potencia y la transmisión, mientras que a partir de los 60-80 km/h es el ruido del rodamiento (Cobo Parra, 1997). En general, este último presenta un mayor contenido en frecuencias altas que el de combustión.

- El ruido generado por una corriente de tráfico de vehículos que fluye por una vía urbana o interurbana presenta un carácter aleatorio y depende de parámetros tan variables como el volumen de circulación soportado o fluidez (desplazamiento de vehículos sin interrupciones, frente a lo que sería tráfico “pulsante”), la velocidad, el tipo de vehículos, la ubicación, dimensiones y tipo de infraestructuras viarias (calles, avenidas, grandes ejes y vías de transporte rápido, semáforos, cruces y enlaces, vías periféricas y circunvalaciones, autopistas, etc.), trazado de la vía, ancho, pendiente, material (asfalto, hormigón, adoquinado, etc.) y estado de conservación de la calzada, coeficiente de absorción del pavimento, etc. Incluso, también influye la forma de conducir: una conducción “deportiva” puede producir un nivel sonoro superior en 7 dBA al de una conducción normal del mismo vehículo (Sanz Sa, 1987 y Cobo Parra, 1997). La fuente de ruido considerada en este caso no es puntual como se mencionaba anteriormente, sino extensa (red viaria/circulatoria).
- Los dispositivos silenciadores de los gases de escape deben ser los adecuados y homologados.
- El uso de bocinas o cualquier otra señal acústica dentro del casco urbano, salvo en los casos de inminente peligro de atropello o colisión, vehículos privados en auxilio urgente de personas y servicios públicos de urgencia o de asistencia sanitaria.

En general, el medio urbano se caracteriza por situaciones de tráfico interrumpido, con numerosas aceleraciones, en muchos casos partiendo de velocidad cero (*vid.* figura 3.10.). Las velocidades de circulación son bajas y medias, con marchas cortas y motores a altas revoluciones, dominando el ruido del motor y del escape. Las emisiones acústicas aumentan con la velocidad del tráfico, la intensidad del mismo, la proporción de vehículos comerciales, etc. (MOPU, 1983).

### **3.2.2. Tráfico ferroviario**

El ruido producido como consecuencia del tráfico ferroviario de superficie es función de los niveles sonoros emitidos por los vehículos (sistema rueda-raíl de los vagones y sistema propulsor de la cabeza tractora o locomotora), de los rieles utilizados y de la frecuencia de paso o volumen de tráfico soportado, sin dejar de tener en cuenta la ubicación y dimensiones de las infraestructuras viarias de ferrocarril. Además, en las estaciones o muelles de carga y descarga suelen producirse ruidos de impacto, como consecuencia de las maniobras. A título orientativo (según la *Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88, sobre condiciones acústicas en los edificios*), el paso de un tren a 30 m de distancia produce un nivel sonoro que varía entre 80 y 100 dBA.

Hay que decir que en España, tradicionalmente, la tendencia general del régimen ferroviario respecto del medio ambiente urbano ha sido de una falta de consideración

(Sánchez Blanco, 1977), si acaso únicamente referida a acciones concretas de protección sonora en las márgenes de las vías férreas nuevas (Sanz Sa, 1987). Los actuales mecanismos de evaluación de impacto ambiental, empleados desde los años 70 del siglo XX (Sanz Sa, 1987), han provocado un cambio de tendencia, especialmente impulsado con el desarrollo con su aplicación a los trenes de alta velocidad (AVE), en lo que a evaluación del ruido se refiere. El tránsito de estos trenes resulta especialmente conflictivo cuando cruzan puentes metálicos o de estructuras que amplifican el ruido, de manera que con la velocidad aumenta la proporción de energía acústica de alta frecuencia y el ruido aparece súbitamente, percibiéndose un sonido similar al del paso de aviones a reacción. En las áreas urbanas, por motivos de seguridad, el tránsito de este tipo de trenes discurre con lentitud.

Figura 3.10. El tráfico urbano se caracteriza por presentar velocidades bajas y medias, con constantes aceleraciones y frenadas.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

En Madrid hay un intenso tráfico de trenes de Cercanías (*vid.* figura 3.11.) cuyos efectos se dejan sentir casi prácticamente en las zonas periféricas, pues en el interior del casco urbano la mayoría de las líneas se encuentran soterradas. Tan sólo penetran en la ciudad a modo descubierto las líneas con destino en las grandes estaciones: Chamartín, al norte, y Atocha, al sur; las conexiones internas existentes y futuras entre ambas estaciones son subterráneas.

La contribución del ferrocarril subterráneo -red de Cercanías y Metro (*vid.* figura 3.12.)- a los niveles sonoros ambientales exteriores es prácticamente nula (si acaso, la mayoría de ésta se produce a través de los sistemas de ventilación). Sin embargo, debido a la transmisión de vibraciones a través del terreno y de las estructuras constructivas pueden dejarse sentir ruidos y vibraciones en la calzada y los edificios próximos a los túneles, llegando a peligrar en contadas ocasiones las estructuras de los inmuebles (Sanz Sa, 1987).

Figura 3.11. Tren de Cercanías de la Serie 447.



*Fuente: RENFE, 2004.*

Figura 3.12. Coche de Metro tipo 2000.



*Fuente: Metro de Madrid, 2004.*

### **3.2.3. Tráfico de aeronaves**

El **tráfico de aeronaves** constituye una fuente sonora controvertida y contemplada en una profusa legislación específica. Se trata del medio de transporte que genera mayor cantidad de energía acústica. Si bien el ruido de los aviones afecta a una proporción de la población mucho menor que el producido por el tráfico rodado, su dependencia de los aeropuertos hace que las molestias ocasionadas en las inmediaciones de éstos sean realmente importantes (Sanz Sa, 1987), y profusamente reflejadas en los medios de comunicación. Aunque se intenta establecer rutas de vuelo seguras que no sobrevuelen el casco urbano, en una gran ciudad como es el caso de Madrid es inevitable escuchar el paso de aviones con una cierta frecuencia, si bien los problemas más acusados en cuanto a contaminación acústica se trasladan a las inmediaciones de los aeropuertos madrileños, especialmente el de Madrid-Barajas, con un elevado tráfico nacional e internacional (*vid.* figura 3.13.).

En líneas generales, desde el punto de vista de la población afectada, los mayores niveles sonoros se emiten durante las operaciones de despegue (momentos en los que se exige a los motores el máximo de potencia) y el aterrizaje (con una menor incidencia sonora, alrededor de unos 20 dB menos que durante el vuelo normal, aunque espacialmente más próximo a la población asentada en las cercanías de los aeropuertos). La emisión de ruido se relaciona con la velocidad del movimiento del aire, y los focos se localizan en el escape de los motores de reacción, los motores de explosión, los álabes de los compresores, las hélices y la fricción del fuselaje contra el aire, especialmente durante el aterrizaje (Sanz Sa, 1987). La emisión no es igual en todas direcciones, sino que la máxima intensidad se



produce en la parte trasera de la aeronave, contenida en un cono de revolución cuyo eje es el del aparato y la generatriz forma con dicho eje un ángulo de 30 a 45° (*Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88, sobre condiciones acústicas en los edificios*). La propagación del ruido apenas encuentra obstáculos hasta llegar a los tejados y fachadas de los edificios, los cuales atenúan el nivel sonoro (Sanz Sa, 1987).

Hay que tener en cuenta el volumen del tráfico o la frecuencia de paso, así como la distribución porcentual por tipos de aviones (por ejemplo, el aumento del número de vuelos chárter produjo que algunos de ellos efectuasen sus recorridos preferentemente de noche o a primeras/últimas horas del día). La problemática de la contaminación acústica procedente de las aeronaves se agrava con el incremento de la flota aérea experimentado en los últimos años.

Asociadas a esta fuente sonora también hay que referirse a las infraestructuras aeroportuarias (*vid.* figura 3.14.) y sus servicios y accesos asociados, en estrecha relación con los tipos de utilización del suelo en los alrededores del aeropuerto, cuya propia dinámica produce transformaciones sociales y económicas que pueden atraer a menudo utilizaciones incompatibles, como la edificación de viviendas que pueden ser adquiridas por los empleados del aeropuerto. El aeropuerto también puede atraer la implantación de industrias en zonas de exposición a un ruido moderado, a causa de las ventajas que supone la proximidad a un medio de transporte tan importante.

Si bien la problemática del ruido de aeronaves se manifiesta especialmente en el entorno de los aeropuertos, tampoco hay que olvidar en el medio urbano el sobrevuelo de helicópteros, relativamente frecuente.



Figura 3.13. Operación de despegue en el aeropuerto de Madrid-Barajas.  
*Fuente: AENA, 2003.*



Figura 3.14. Túnel de la carretera M-111, bajo las pistas del aeropuerto de Madrid-Barajas.  
*Fuente: AENA, 2003.*

#### **3.2.4. Sirenas, alarmas, megafonía y reclamos**

El uso de sistemas de estos dispositivos se encuentra en estrecha relación con el tráfico de vehículos, dado que es en ellos donde suelen instalarse (aunque también en

edificios u otros bienes), como indicativo o advertencia de la realización de un servicio de urgencia (ambulancias, cuerpos públicos de seguridad, bomberos, etc.) o de un determinado aviso (por ejemplo, el inminente peligro de colisión o atropello, una manipulación sin autorización, no sólo del vehículo, sino también de la instalación, local o bien en el que se encuentra instalada, un mensaje comercial, etc.). Hay que tener en cuenta la duración y repetición de la señal acústica, de cara a estudiar el grado de molestia producido por la misma.

### **3.2.5. Actividades comunitarias y establecimientos de pública concurrencia, de ocio y/o funcionamiento nocturno**

Se trata de unos focos localizados y fijos con intensidad de emisión variable, según las actividades desarrolladas, generalmente comerciales, de ocio, deportivo-recreativas, culturales, conciertos y actuaciones musicales, espectáculos públicos, restauración o de asociacionismo, ya sea al aire libre, en establecimientos, en locales o vías públicas.

Suelen manifestarse durante unos periodos temporales concretos, especialmente en los periodos horarios vespertinos y nocturnos (siendo un problema añadido el frecuente incumplimiento de los horarios de cierre nocturnos) (Pinedo Hay, 2001), en fines de semana y en la época estival. Son fuentes que tienen un carácter más bien localizado e identificable. Por ejemplo, es habitual la concentración de los locales de ocio nocturno en determinadas áreas o zonas de la ciudad, en ocasiones ubicadas en los bajos de viviendas, produciendo ruidos con intermitencia y variación de niveles que fácilmente pueden alcanzar valores de 90 dBA o superiores (Sanz Sa, 1987). Se trata de:

- Equipos de reproducción/amplificación sonora o audiovisual.
- Actuación de grupos musicales o vocalistas, eventos artísticos y culturales.
- Establecimientos diversos (restaurantes, cafeterías, bares y locales de copas, discotecas, “pubs”, salas de fiesta y baile, salas de juego, etc.).
- Aglomeraciones y concentración de jóvenes en la vía pública (actividades conocidas como “botellón”, “movidas”, etc.), siendo en algunos casos la fuente dominante en determinados periodos temporales.
- Locales de espectáculos (salas de exhibición cinematográfica, locales de teatro, de circo, etc.).
- Puertas de acceso sin vestíbulos acústicos (espacio de amortiguación sonora comprendido entre dos puertas), deficiente aislamiento acústico de la estructura del local (paredes, cerramientos, techos, etc.).



- Fiestas, verbenas, ferias y exposiciones temporales.
- Manifestaciones y mítines.
- Eventos deportivos.
- Sistemas de megafonía y ruidos de impactos.
- Terrazas y veladores.
- Mercados, locales comerciales (*vid.* figuras 3.15. y 3.16.) y actividades comerciales con especial incidencia en la vía pública, algunas de ellas tradicionales en Madrid, como es el caso del Rastro.
- Colegios, especialmente durante las horas de recreo y de comienzo/fin de clases.

Figuras 3.15. y 3.16. Vista de algunas zonas comerciales de Madrid.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

La mayoría de estas fuentes suponen casi siempre una molestia para la vecindad, no tanto para los usuarios de las actividades que son llevadas a cabo.

Mención especial merece el fenómeno conocido como del “botellón”, en el que grupos de jóvenes, en ocasiones menores de edad, se reúnen de noche en la vía pública para consumir bebidas alcohólicas. Tal fiesta va asociada generalmente a escándalo y gritos que afectan en especial al descanso de los vecinos. Su gestión va más allá de la mera regulación del consumo de alcohol en la vía pública, excediendo el marco de los problemas de la contaminación acústica. Se trata de un fenómeno de “contaminación múltiple” a la vista de las ingentes cantidades de vidrio, plástico y otros residuos que los servicios de limpieza deben recoger a la mañana siguiente, sin olvidar los desagradables olores como otra de las consecuencias; todos ellos en conjunto suponen un coste importante a las ciudades. Pero además de un problema ambiental, también lo es social. Por un lado, algunos de los jóvenes que acuden a estas concentraciones son menores de edad, por otro, a poca distancia se suelen encontrar actos vandálicos, accidentes de tráfico, desórdenes, altercados,

agresiones, peleas o reyertas que requieren de las intervenciones de la Policía, servicios sanitarios, Cruz Roja, voluntarios de Protección Civil, etc. Con tales consecuencias, es fácil deducir, como indica Herrera del Rey (2013), que no estamos propiamente ante un problema estrictamente de ruido, sino de mucha más gravedad por sus implicaciones individuales, sanitarias, familiares, culturales y en general sociales, que depende de la variedad de los tipos de asentamiento, el factor del entorno geográfico, los hábitos sociales y patrones culturales y vecinales, los parámetros y variables económicas, etc.

### **3.2.6. Obras, trabajos y actividades varias**

Aquí se incluye un amplio conjunto de fuentes sonoras presentes en el medio urbano debidas a causas diversas, que en muchas ocasiones atraen en gran medida la atención de los ciudadanos dado su carácter acotado en el espacio (localizado) o en el tiempo (puntual) (Sanz Sa, 1987):

- Obras y trabajos de construcción, reparación, reforma, acondicionamiento o derribo de edificios, infraestructuras, vías públicas o ingeniería civil, y el instrumental y/o equipos empleados en los mismos. Generalmente suele tratarse de maquinaria de gran tamaño, productora de ruidos continuos de nivel fluctuante, y en gran medida impulsivos.
- Sistemas o equipos complementarios utilizados para operaciones subsidiarias en cualquier tipo de obra (herramientas y maquinaria auxiliares), así como su adecuada manipulación. Este es el caso de martillos neumáticos, operaciones de soldadura y martilleo, taladros y perforadoras, sierras, pulidoras, palas hidráulicas, sopladores y aspiradores de hojas, hormigoneras, cortadoras de césped, desbrozadoras, compactadoras, niveladoras, trituradoras, tornos, cintas transportadoras, montacargas y grúas, motocompresores, grupos electrógenos y generadores (*vid.* figura 3.17.), bombas de agua y un largo etc. A título orientativo, éstos suelen producir más de 90 dBA a 10 m de distancia de la fuente.
- Obras en interior de locales.
- Operaciones de instalación o retirada de contenedores de escombros en la vía pública (figura 3.18.).
- Operaciones de carga, descarga y transporte de materiales y/o mercancías en camiones u otros vehículos (figura 3.19.).



Figura 3.17. Equipos complementarios empleados en las obras de construcción, instalados en la vía pública.

*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*



Figura 3.18. Los contenedores de escombros situados en la vía pública constituyen una fuente de ruido, tanto en su instalación y recogida, como durante su llenado.

*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*



Figura 3.19. Hormigonera circulando por una vía urbana.

*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

- Reparto de mercancías (figura 3.20.).
- Trabajos de limpieza de la vía pública (figuras 3.21. y 3.22.) y de recogida municipal de residuos urbanos (transporte, manipulación de contenedores, etc.).
- Depósito de vidrios, cristales y otros tipos de residuos en los contenedores destinados a tal efecto para su recogida y reciclaje.
- Minicentrales y centros de transformación de energía eléctrica.



Figura 3.20. Reparto de mercancías en las proximidades de un mercado.  
*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*



Figura 3.21. Sopladores de hojas.  
*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*



Figura 3.22. Vehículo de limpieza urbana.  
*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

### **3.2.7. Edificaciones**

Las emisiones de las edificaciones también deben ser tenidas en cuenta, pues en ellas existen una serie de dispositivos y sistemas que resultan de especial interés en cuanto a la emisión de ruidos al exterior, y que deben ser instalados con ciertas precauciones de ubicación y aislamiento:

- Aparatos elevadores (ascensores y montacargas, cuarto de máquinas, etc.).
- Puertas de acceso.



- Instalaciones de calefacción, refrigeración, climatización y acondicionamiento de aire, ventilación, etc. (chimeneas de ventilación, calderas, quemadores, bombas de circulación, salas de máquinas, etc.).
- Instalaciones de fontanería, distribución y evacuación de aguas (canalizaciones y bajantes, por ejemplo).
- Instalaciones eléctricas (sistemas de iluminación, centros de transformación de energía eléctrica, relés de conmutación, etc.).
- Otros servicios del edificio.

Debe hacerse mención asimismo a las condiciones acústicas de la edificación como mediadoras de la transmisión del ruido, por las funciones de aislamiento acústico que desempeñan, junto a los materiales constructivos, así como el propio coeficiente de absorción de las fachadas de los edificios, en la medida en que son parámetros influyentes, según se contempla en el Código Técnico de la Edificación. A este respecto, a la hora de fijar por parte de la Administración competente los objetivos de calidad acústica, es clave establecer la coordinación y concordancia entre estos valores y las exigencias de aislamiento acústico de fachadas e instalaciones de las edificaciones, previstas en el *Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación* (Sanz Sa, 2007).

### **3.2.8. Actividades, instalaciones y equipamientos industriales**

Éstas no poseen una presencia destacada en general en el interior del medio urbano madrileño (tienden a localizarse en la periferia o en zonas muy concretas del interior de la ciudad). La mayoría de las instalaciones industriales se han sumido en el proceso de demolición y recalificación del terreno para ser destinado a usos terciarios y residenciales. Los ruidos emitidos al exterior por las industrias son muy variados, ya que dependen no sólo de la actividad o proceso industrial realizado, sino también de las características constructivas del local (ubicación, forma, materiales, etc.) y de las operaciones de transporte de mercancías. Las molestias ocasionadas se pueden acrecentar durante los periodos de trabajo nocturno en procesos que requieren de una continuidad de funcionamiento (Sanz Sa, 1987).

Las fuentes de ruido industrial son debidas a una gran variedad de procesos; concretamente, las más importantes corresponden a la propia maquinaria empleada: fuentes estacionarias (en función de la potencia de la misma), así como ruidos mecánicos producidos por impactos entre diferentes partes de una misma máquina o entre máquinas diferentes (ruidos periódicos, algunos impulsivos, de percusiones, impactos, mal equilibrado, mal amortiguamiento, cerramientos defectuosos, máquinas rotatorias, vibraciones de las

carcasas, etc.). No deben olvidarse los ruidos continuos procedentes de motores eléctricos, ruido hidrodinámico producido por válvulas, escapes de presión y de gases, turbinas, compresores, tuberías, equipos de ventilación, etc. (Sanz Sa, 1987 y Cobo Parra, 1997). El sector de población más afectado por estos ruidos es la activa, ocupada en las propias instalaciones industriales, así como la residente en las zonas circundantes.

### **3.2.9. Actividades de carácter doméstico o de la vecindad**

Existe una serie de fuentes sonoras de carácter doméstico o de la vecindad<sup>8</sup>, cuya consideración es importante en la medida en que los niveles sonoros que generan, producidos por las personas que habitan un inmueble de viviendas, son percibidos por personas ajenas a su producción (ya sea en el exterior, en viviendas colindantes, etc.). Muchos de los ruidos generados son de carácter intermitente y responden a determinados comportamientos individuales que pueden molestar a los vecinos. Dicha intermitencia y relación con el comportamiento humano convierten estos ruidos en un problema delicado desde el punto de vista de su reglamentación (Sanz Sa, 1987). Este es el caso de:

- Uso de aparatos receptores de televisión y radio, equipos musicales u otros electrodomésticos (aspiradoras, lavadoras, lavaplatos, batidoras, extractores de humos, frigoríficos, etc.), especialmente durante el periodo nocturno.
- Accionamiento de persianas enrollables.
- Obras en interior de viviendas.
- Uso de instrumentos musicales.
- Comportamiento de animales domésticos (ladrido de perros, fundamentalmente).
- Juegos de niños, con carácter esporádico.

### **3.2.10. Presencia de peatones en la vía pública y comportamiento ciudadano**

La presencia de peatones en la vía pública también presenta una cierta influencia sobre los niveles sonoros, especialmente en las calles más transitadas o con mayor actividad comercial (*vid.* figura 3.23.), aunque sean menores aportaciones en comparación,

---

<sup>8</sup> En ocasiones, algunas categorías de ruidos, como el generado por actividades domésticas o en el interior de medios de transporte, son contempladas en normativas específicas y no quedan sujetos, por ejemplo, a la *Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental* o a la *Ley 37/2003, del Ruido*.

por ejemplo, con el tráfico rodado. Se trata de contribuciones debidas al comportamiento humano, a la conversación y las voces, al tránsito, etc.

Se entiende que el comportamiento de los ciudadanos en el medio ambiente exterior debe mantenerse dentro de los límites de la buena convivencia ciudadana, sin que se produzcan ruidos que perturben el descanso y la tranquilidad de los vecinos y viandantes o impidan el normal desenvolvimiento de las actividades propias del local receptor. En este grupo de fuentes se considera: gritar o vociferar, explotar petardos o elementos pirotécnicos, utilizar aparatos de reproducción sonora a elevado volumen, permanecer en horario nocturno en concurrencia con otras personas o grupos de personas reunidas en la vía o espacios públicos, o en espacios exteriores de titularidad privada y uso público, cuando no exista autorización produciendo, a consecuencia de la actuación colectiva, ruidos que ocasionen molestias y perturben el descanso y la tranquilidad de los vecinos, comportamiento de animales domésticos, etc.

Figura 3.23. Tránsito de viandantes en una céntrica calle comercial de Madrid.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

### **3.2.11. La naturaleza y los agentes atmosféricos**

Finalmente, éstos también deben ser considerados como fuentes sonoras pues, aunque con menor incidencia que las anteriores, algunos fenómenos naturales pueden dar lugar a niveles sonoros elevados no sólo en el exterior, sino especialmente en el interior de edificios. Este es el caso de fuerte lluvia, tormenta o granizo, a causa de los impactos producidos en las cubiertas y cerramientos, transmitidos a través de los elementos constructivos. El viento también puede presentar una especial incidencia, así como los truenos en fenómenos tormentosos. Otras fuentes naturales a destacar, aunque quizás en ocasiones más alejadas del medio urbano, son el fluir de los ríos, el oleaje del mar, e incluso las avalanchas y erupciones volcánicas (Sanz Sa, 1987).

### **3.2.12. Consideraciones finales**

En resumen, se puede afirmar que resultan muy numerosos los focos o fuentes de contaminación acústica con los que se ha de luchar cotidianamente en las diversas situaciones o escenarios en los que se desenvuelve nuestra existencia (lugar de trabajo, vivienda, espacios de ocio, etc.) (Alonso García, 1995), proviniendo de todos los frentes, de manera que casi forman parte de nuestras vidas y los tenemos asimilados en nuestro subconsciente, llegado a extremos en los que su ausencia produce una extraña sensación de “vacío acústico” (Cano Murcia, 2004).

El ruido del tráfico de vehículos a motor es el predominante durante el periodo diurno, especialmente los días laborables, mientras que el ruido de carácter nocturno de las actividades de pública concurrencia y de ocio se manifiesta más marcadamente durante los fines de semana (Ayto. de Madrid, 1999). Paradójicamente, esta contaminación acústica con más presencia temporal no es la que suscita más controversia social (Cano Murcia, 2004); así, se acepta su presencia diurna como algo “normal”, en la medida en que todos hacemos uso de los medios de transporte, tanto públicos como privados, soportamos el ruido producido por las máquinas de las obras, etc., sin darle a priori una excesiva importancia. En España, ya en el año 1989 el 23 % de la población estaba expuesta a niveles de ruido superiores a los 65 dB(A) producidos por el tráfico (MOPU, 1989), constituyendo desde entonces uno de los países de la OCDE en los que este problema se desarrollaba con mayor virulencia. En efecto, el tráfico destaca como principal causante de las molestias por ruido (Goy, 1977), por encima de cualquier otra fuente, tanto de día como durante el periodo nocturno (*vid.* figuras 3.24. y 3.25.). En 2003, un 29 % de la población española aseguraba sufrir tales molestias durante el día, mientras que los ciudadanos molestos por los locales de ocio eran sólo el 6 % (1/5 de los anteriores). Por la noche, un 14 % padecía molestias por el tráfico y un 7 % por los establecimientos de ocio (la mitad de los anteriores) (García Sanz y Javier Garrido, 2003).

Figuras 3.24. y 3.25. El tráfico destaca como la principal fuente de ruido no sólo durante el periodo diurno, sino también durante el nocturno.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*



Según diversas mediciones de los niveles de ruido en nuestras ciudades, el tráfico es el causante de aproximadamente el 80 % del mismo, lo que apunta a que los niveles reales no se corresponden de manera proporcional con la sensación de malestar que provocan en los ciudadanos. Así, las molestias por ruido de tráfico tienen un índice de correlación muy inferior al que se da con los locales de ocio, pudiendo afirmar que la sensación de molestia en la población aumenta cuando está relacionada con fuentes individualizadas, localizables y, en principio, susceptibles de reducción o anulación, como es el caso de los locales y establecimientos ruidosos.

La relevancia social que en los últimos años ha alcanzado el ruido provocado por la denominada “movida nocturna” ha provocado la intervención de diversos sectores sociales y fuerzas políticas, con la intención de encontrar una solución a este fenómeno sociológico, que implica un enfrentamiento de intereses entre el derecho de los vecinos a la tranquilidad y al descanso, y el de los jóvenes al ocio y la diversión (García Sanz y Javier Garrido, 2003).

Se trata de una situación especialmente conflictiva, caracterizada por la producción de un ruido nocturno que no es continuo (a diferencia de la mayoría de los provocados por las actividades industriales, por ejemplo), sino que oscila en función de la voluntad del emisor, y que es un ruido de masas, fruto de la acumulación de conversaciones de un gran número de personas en un espacio concreto (Guillén López *et al.*, 2001). Generalmente se localiza en áreas urbanas residenciales, concentrándose en diversas zonas de la ciudad, lo que provoca ruidos adicionales derivados de los desplazamientos que realizan los grupos de jóvenes de unos lugares a otros.

La complejidad del problema reside en que, además, está relacionado con la venta de bebidas alcohólicas y el horario de apertura de establecimientos (bares, “pubs”, discotecas, etc.), cuyo control y regulación son difíciles o, cuando menos, controvertidos, por poderse ver afectados principios fundamentales como el derecho a la libertad (art. 17 de la *Constitución Española*), a circular libremente por el territorio nacional (art. 19 *CE*) o el de reunión (art. 21 *CE*). Todo ello, unido a la escasez de medios policiales de muchos ayuntamientos y a la “permisividad” en el consumo de bebidas alcohólicas en la vía pública, limita el campo de actuación de las Administraciones (Pinedo Hay, 2001). Colateralmente, las vías públicas resultan afectadas (suciedad, vandalismo, etc.), así como las viviendas se ven devaluadas por las condiciones del entorno, con el consiguiente perjuicio económico para sus titulares (García Sanz y Javier Garrido, 2003).

Parece razonable, junto a la actuación municipal, apelar a la responsabilidad de los padres, educadores y de la sociedad en general, que no deben ser ajenos al fenómeno, pues la falta de educación, cultura solidaria y civismo de los jóvenes parecen ser la principal causa de los efectos indeseables de este fenómeno social (Cano Murcia, 2004).

Durante el periodo nocturno el índice de correlación de los niveles de ruido del tráfico urbano y de los locales de ocio, con respecto a la sensación de molestia, tiende a

equilibrarse, indicando que dicha sensación aumenta durante el tiempo de descanso nocturno. Ello pone de manifiesto la tolerancia e incluso insensibilidad de la mayoría de la población ante las molestias de la contaminación acústica durante el periodo de actividad diurno, incidiendo en la idea de la aceptación social de la misma como un componente inherente e ineludible de la vida cotidiana de las sociedades modernas (García Sanz y Javier Garrido, 2003). Aunque se reivindique una sociedad más silenciosa, parece que el ruido va inevitablemente unido a la civilización moderna.

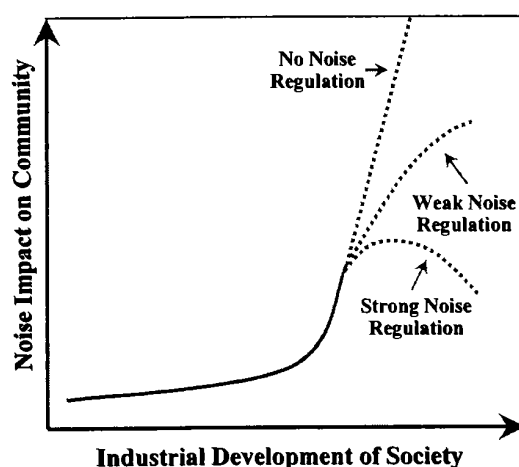
### **3.3. APROXIMACIÓN AL CONTROL Y A LA LUCHA CONTRA EL RUIDO URBANO**

El problema del ruido en las ciudades no tiene un carácter aislado y debe tratarse en consideración conjunta con otros problemas urbanos, como son el excesivo tráfico, gestión adecuada de los medios de transporte, dependencia de los combustibles fósiles, superpoblación, gestión de residuos y un largo etc., dada su interconexión y dependencia, de los que la planificación acústica no debe ir separada. Cada vez se hace más patente que los gestores públicos que presenten una visión interdisciplinar de los problemas urbanos ante los que se enfrentan, serán los que tendrán éxito o, al menos, conseguirán avances positivos en la calidad de vida de los ciudadanos a los que representan.

Lo que parece claro es la necesidad de formular una regulación consistente para tratar la contaminación acústica en las ciudades. Hede (1998) afirmó que existe una relación directa entre el nivel de desarrollo de un país y el grado de impacto por contaminación acústica sobre su población: según avanza el nivel de desarrollo de una sociedad, acordeamente se incrementa el nivel de urbanización e industrialización, así como la extensión de sus sistemas de transporte, pero cada uno de estos hechos implica también un aumento cada vez mayor de los niveles sonoros soportados, cuyo impacto progresará en continuo ascenso de no implementarse una regulación fuerte que lo frene (*vid.* figura 3.26.).

Desde este punto de vista, la planificación urbanística es un importante campo de acción para combatir la lucha contra la contaminación acústica, hasta ahora tan sólo explotado apenas en cuanto a la delimitación de zonas urbanas necesitadas de protección frente a la agresión derivada de la saturación del tráfico o de la concentración de establecimientos de ocio (Cano Murcia, 2004). A este respecto se puede incidir en el diseño de la ciudad, los usos permitidos, las infraestructuras y dotaciones urbanas, los espacios libres, las vías de comunicación y definición de la red de transportes, la regeneración de los centros urbanos, la ubicación de los polígonos industriales, etc., es decir, en los planes urbanísticos, en estrecha relación con la ordenación del suelo urbano, el cual es un recurso limitado.

Figura 3.26. Relación entre el desarrollo de la sociedad e impacto acústico en la población, según la regulación acústica implementada.



Fuente: Hede (1998).

Hasta ahora, la realidad refleja cómo se ha recurrido sólo a la legislación sectorial urbanística, fundamentalmente la dictada para la protección del medio ambiente, para intentar prevenir y paliar los problemas derivados de la contaminación acústica que padecen las ciudades como consecuencia de una deficiente planificación.

En el caso de Madrid, la primera *Ordenanza Reguladora de la Actuación municipal para combatir en Madrid la Contaminación Atmosférica* data de 1968, y un año más tarde se promulgó la primera *Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente contra la emisión de Ruidos y Vibraciones*, lo que situó a la ciudad a la vanguardia nacional de la regulación local en la materia. Algunos de los esfuerzos posteriores de la Administración municipal en la lucha contra el ruido se han visto materializados en acciones como el *1<sup>er</sup> Plan Estratégico para la Reducción de la Contaminación Acústica (PERCA) (2001-2003)* o el *Plan de Acción en Materia de Contaminación Acústica* de 2010, así como en documentos concretos, como el *Estudio de los niveles sonoros ambientales en el distrito Centro de Madrid* de 1999. Otras iniciativas municipales destacables son la *Estrategia Local de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid para el periodo 2006-2010* y su continuación en el *Plan de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid 2011-2015*, que entre sus líneas de acción contemplan la contaminación acústica.

La normativa municipal del Ayuntamiento de Madrid contempla que, aquellas zonas donde se incumplan los objetivos de calidad acústica establecidos, sean declaradas Zonas de Actuación Acústica (ZAA) (*vid.* apartado 4.4.), y se perseguirá en ellas la progresiva reducción de los niveles sonoros ambientales a través de una serie de medidas correctoras, hasta alcanzar los adecuados. Véanse, por ejemplo, las *Normas reguladoras del régimen de instalación y funcionamiento de las actividades de espectáculos públicos y recreativas en la Zona de Actuación Acústica del distrito de Centro* (BOAM, 14 de noviembre de 2002), la

publicación de las *Normas sobre el Procedimiento Administrativo para la solicitud de subvenciones a viviendas afectadas por el Programa Zonal Acústico en el distrito de Centro* (BOAM, 29 de mayo de 2003), o el *Plan Zonal Específico de la Zona de Protección Acústica Especial del “Centro Argüelles”, Aurrerá (distrito de Chamberí)* (BOAM, 4 de octubre de 2010).

En Madrid existe una *Red de Vigilancia de la Calidad del Aire*, en la que se integra la *Red de Control de la Contaminación Acústica*, que cuenta con una serie de estaciones remotas de medición repartidas por el territorio de la ciudad. Cada estación contiene una instrumentación con sensores de registro de variables meteorológicas (incluyendo la radiación ultravioleta), de diversos contaminantes atmosféricos (dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono, óxidos de nitrógeno, partículas en suspensión, metales pesados, benceno, tolueno, xileno, etc.) e incluye también un sonómetro para registrar el nivel sonoro ambiental, información toda ésta que se ofrece al ciudadano para su consulta a través de Internet.

En colaboración con las actuaciones municipales y, desde el campo de la investigación física del sonido, ha habido numerosas aportaciones del Instituto de Acústica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Es de destacar también el papel de la *Sociedad Española de Acústica*, dedicada desde su constitución en 1969 al estudio, la información y la difusión sobre todo tipo de temas acústicos, así como a velar por la protección de las personas y de la colectividad contra los ruidos, asesorando a los organismos correspondientes sobre métodos idóneos para reducir los niveles sonoros elevados mediante la confección de recomendaciones y la colaboración en la redacción de normas. Se encarga además de la edición de la *Revista de Acústica* y organiza diversas actividades tales como congresos, coloquios, cursos, seminarios, conferencias, mesas redondas, etc., destacando el *Congreso Español de Acústica “TecniAcústica”*, que cuenta con varias décadas de recorrido. Cuenta asimismo con diversas publicaciones, entre las que se puede citarse *El ruido en la ciudad. Gestión y control* (1991).

Paralelamente y, como respuesta al número creciente de denuncias y quejas formuladas en relación con el problema del ruido, han surgido varias asociaciones, plataformas y agrupaciones de ámbito nacional como la *Asociación Española para la Calidad Acústica (AECOR)*, la *Plataforma Estatal Contra el Ruido y las Actividades Molestas (PEACRAM)*, o *Juristas Contra el Ruido*, por citar algunas de las más destacables.

También, la concienciación pública a través de campañas educativas y publicitarias se revelan como necesarias. Como ejemplos, en Madrid se contrataron mimos que ofrecían caramelos en ciertas zonas de concentración pública a quienes tuviesen una conducta silenciosa, y en Barcelona varios actores sacaron a la calle una cama con varias personas durmiendo en ella, en una interpretación teatralizada (Herrera del Rey, 2013). Anualmente, se celebra el *Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido*, en el que gran número de instituciones públicas y privadas preparan actos y actividades dirigidas a la

toma de conciencia sobre este problema, dirigidas especialmente a la población joven a través de la colaboración con colegios e institutos.

Queda claro que la reducción de los efectos nocivos de este contaminante debe ser uno de los **objetivos** a adoptar por la Administración pública, mediante una adecuada gestión del ruido ambiental que no deje a un lado la prevención, y teniendo en cuenta los progresos científicos y técnicos. Obviamente, las relaciones coste-eficacia y coste-beneficio deben ser criterios de selección de estrategias y medidas para los programas de lucha contra el ruido, que permitan finalmente poder hablar en términos de calidad acústica ambiental urbana.

Los valores límite establecidos deben ser elegidos por la Administración, pensando en la planificación futura, y ser más estrictos para aquellas actividades o instalaciones más críticas frente al ruido, pero, sobre todo, deben ser realistas para que puedan ser implantados (MOPU, 1983). De superarse tales valores, obligan a las autoridades competentes a prever o a aplicar medidas. Los valores límite pueden variar en función de la fuente emisora de ruido (tráfico rodado, ferroviario o aéreo, industrial, etc.), del entorno, o de la distinta vulnerabilidad al ruido de los grupos de población, y pueden ser distintos al pasar de una situación existente a una nueva situación proyectada (cuando cambia la fuente de ruido o el uso en el entorno considerado).

Algunas de las **medidas** que pueden prever las autoridades dentro de sus competencias, son, de modo sintético:

- Regulación y gestión del tráfico urbano (sentidos de circulación, supresión de cruces, sincronización de semáforos, regulación del tráfico pesado, etc.).
- Por parte de los conductores, un modo de conducción razonable y “ecológico” (evitando aceleraciones intensas, etc.) y el buen estado de los vehículos son factores importantes para reducir las emisiones sonoras.
- Aplicación de medidas técnicas correctoras en las fuentes emisoras (silenciadores, amortiguadores, modificación de las infraestructuras, etc.).
- Selección de fuentes más silenciosas o reducción de su potencia sonora (promover en la contratación de obras y suministros el uso de maquinaria, equipos y pavimentos de baja emisión acústica).
- Reducción de la transmisión del sonido y aislamientos acústicos: estructura adecuada de las distintas partes de las construcciones (paredes, techos, ventanas, etc.), materiales específicos (determinada densidad, porosidad y coeficiente de absorción acústica), paneles, barreras acústicas, apantallamientos, etc.

- Ordenación del territorio y planeamiento urbanístico (concepción técnica del sistema viario, compatibilidad de usos del suelo, la adecuada ubicación, disposición y orientación de los edificios de modo que presenten la menor superficie de exposición de áreas sensibles al ruido en la dirección de incidencia del mismo, delimitación de zonas de transición, calles peatonales, etc.). Se trata de la mejor solución a largo plazo al problema del ruido en general.
- Medidas o incentivos reglamentarios o económicos: fijación de niveles de emisión sonora específicos para cada categoría de vehículo, prohibición de circulación de determinadas clases de vehículos, restricciones horarias o limitación de la velocidad media, subvenciones para cambio de actividad, inspecciones, certificaciones, homologaciones, controles, restricción del horario de cierre de establecimientos, limitación del número de licencias de apertura, limitación del nivel de actividad, multas, la no autorización de puesta en marcha, ampliación, modificación o traslado de un emisor acústico que esté incrementando los valores de los índices de inmisión existentes en la vía pública, educación y campañas de información, etiquetado acústico de aparatos, etc. (Cano Murcia, 2004 y Ortega Álvarez, 1995). Por citar un ejemplo, véase la *Convocatoria para la concesión de subvenciones con objeto de minimizar la contaminación acústica de locales que formen parte del patrimonio cultural de la ciudad de Madrid*. También es importante mencionar la existencia del Centro Municipal de Acústica del Ayuntamiento de Madrid, que cuenta con un laboratorio de medición y de un servicio de determinación de potencias sonoras de los ruidos emitidos por vehículos que infrinjan la normativa municipal.

Estas medidas se podrían clasificar en directas, dirigidas a las mismas fuentes o focos productores de ruido, e indirectas, que pretenden aminorar o neutralizar los efectos durante la propagación/transmisión/trayectoria y/o en el lugar de recepción y sujetos receptores: actuaciones en la vía pública, aislamientos acústicos en las edificaciones, protección auditiva, etc. (de Miguel García, 1978 y Pinedo Hay, 2001).

Generalmente resulta más eficaz e incluso económico reducir el ruido lo más cerca posible de la fuente que lo genera. Por ejemplo, las barreras acústicas no funcionan para proteger edificaciones en altura; deben situarse lo más próximas posible a la fuente, soliendo emplearse para mitigar la difusión horizontal asociada generalmente a vías rápidas en la periferia. Muchas de estas medidas están contenidas en el Anexo V de la *Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*, si bien han sido desarrolladas por los Estados miembros.

En el caso concreto del Ayuntamiento de Madrid y, según fuentes municipales (2007), las principales medidas tomadas en los últimos tiempos para mejorar las condiciones acústicas de la ciudad han consistido en la peatonalización de viales, la construcción de mamparas acústicas, el uso de asfaltos porosos, las restricciones al tráfico, o la insonorización de cubos de recogida de residuos, entre otras.

La dificultad de las técnicas de control se fundamenta, principalmente, en que muchas veces es preferible llegar al compromiso de reducir el ruido a unos niveles aceptables para la población que los padece, en lugar de eliminarlo completamente, esto es así debido a que su reducción supone un cierto coste económico que hay que valorar (Cobo Parra, 1997). Por otra parte, los focos de ruido y su naturaleza son condicionantes a la hora de fijar cualquier tipo de aislamiento acústico.

Un posible esquema de la **estrategia** general a seguir en el proceso de **control** del ruido es el que se expone a continuación (Cobo Parra, 1997; Harris, 1977 y Magrab, 1975). En primer lugar es conveniente identificar el propio ruido, es decir, conocer sus características temporales, espaciales y espectrales (espectro de frecuencias), medirlo e identificar las fuentes (si no existe, se puede contemplar la posibilidad de realizar algún tipo de predicción). A continuación conviene identificar la normativa aplicable y comprobar si se cumple satisfactoriamente o si es necesario llevar a cabo medidas de control pasivo (en la fuente, en la trayectoria o en el receptor) o bien de otro tipo, como las de control activo. Los sistemas de control pasivo aprovechan las propiedades absorbentes de algunos materiales y no introducen energía adicional al sistema, siendo una solución eficaz para ruidos con frecuencias medias y altas, con un coste no demasiado elevado (desde maquinaria silenciosa hasta amortiguamiento, cerramientos, aislamientos, absorción, apantallamiento, filtrado, acondicionamiento, protección auditiva, etc.). Los sistemas activos resultan eficaces para las bajas frecuencias (transformadores eléctricos, ventiladores, tubos, recintos, ruido difractado por barreras y bordes, etc., e introducen energía externa a la situación de ruido, de manera que una o varias fuentes secundarias generan un campo de ondas acústicas en contrafase (u oposición de onda) con el campo primario (generado por la fuente original), interfiriendo destructivamente con él y contrarrestándolo. En este último método se emplea un sistema de micrófonos y altavoces controlado por un procesador.

Las distintas normas establecen **sanciones** económicas, pero junto a ellas prevén una serie de medidas cautelares o provisionales que suelen resultar en la práctica más eficaces, sobre todo en pro del bienestar de los individuos que tienen que soportar las molestias por ruido, mientras que el largo y tortuoso procedimiento sancionador y administrativo se desarrolla. Este es el caso del precinto de aparatos, equipos o vehículos, la clausura temporal, parcial o total de las instalaciones o del establecimiento, la suspensión de la actividad, la incautación de objetos o aparatos, la exigencia de fianzas, etc.

Frente a lo comentado anteriormente, es de destacar la gran importancia de la consideración de medidas preventivas tendentes a evitar la aparición de nuevos problemas. En este sentido, la gestión del ruido ambiental pasa por la planificación urbana y la gestión de los usos del suelo, especialmente en lo relativo a las comunicaciones, a través de un diseño ambiental óptimo de las mismas y de una planificación compatible de los usos alrededor de las vías, así como en lo referente a la ubicación de las actividades más sensibles al ruido, como hospitales, escuelas, jardines de infancia, residencias de ancianos,

etc. Siempre es más sencillo, eficaz y menos costoso corregir previamente sobre planos y mapas que a posteriori sobre el terreno (MOPU, 1983).

En resumen, los diferentes tipos de acciones que se pueden emprender para el control del ruido ambiental urbano son numerosos y, a menudo, complementarios. La puesta en práctica de las medidas necesarias para la gestión de la contaminación acústica depende de factores tales como (Sanz Sa, 1987):

- Las decisiones políticas relativas a la lucha contra el ruido, teniendo en cuenta el coste y las implicaciones energéticas de las medidas adoptadas.
- Los medios técnicos, financieros y personales disponibles a nivel de las diferentes Administraciones (local, regional o central).
- La acción de los organismos locales.
- El grado de voluntad e implicación de la población para obtener un medio ambiente silencioso y adecuado, que poder disfrutar.
- El civismo de los ciudadanos que pueden ser responsables en un momento u otro de la producción de ruido.

Dados los caracteres de focalización del ámbito espacial y de temporalidad del ruido, se desprende que el coste de la protección frente al ruido resulta menor que el de la lucha contra otros tipos de contaminación, además de no suponer un freno significativo para el desarrollo industrial y admitir la posibilidad operativa de poner los mecanismos de actuación en manos de las Administraciones locales, como entidades administrativas más próximas a las fuentes productoras (Alonso García, 1995).

Pero la aplicación de medidas no se completa si no existe su **seguimiento**. En el caso de Madrid, el Ayuntamiento ha creado la *Comisión de Control y Seguimiento del Ruido*, cuyo régimen de organización y funcionamiento se aprobó en 2005. Se trata de un órgano no colegiado de seguimiento, análisis y valoración de las políticas y actuaciones municipales en materia de contaminación acústica, que da cabida a representantes de otras Administraciones Públicas, de organizaciones representativas de intereses sociales u otros miembros que se designen por sus especiales condiciones de experiencia o conocimientos, y también a diversos representantes de los ciudadanos. Posteriormente, la creación de la *Comisión de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid* en 2010 también ha venido a dar cabida al problema de la contaminación acústica a nivel municipal. Por otro lado, el *Foro de Sostenibilidad de la Ciudad de Madrid* en 2006 supuso un apoyo más en esta línea, aunque en sentido más amplio.



A nivel nacional, la creación del *Sistema Básico de Información de la Contaminación Acústica (SICA)* facilita la información al público sobre el ruido. Se trata de una iniciativa del Ministerio de Medio Ambiente que da respuesta a la aplicación de la *Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente*, resultado de la transposición de la *Directiva 2003/4/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2003, relativa al acceso del público a la información medioambiental*. El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) es quien presta el apoyo técnico para la implantación y mantenimiento de este SICA, que constituye la base de datos necesaria para la organización de la información relativa a la contaminación acústica en España, y en particular, la referente a los mapas estratégicos de ruido y planes de acción, siendo uno de sus objetivos cumplir con la obligación del envío de dicha información (*Comunicaciones*) a la Comisión Europea con una cierta periodicidad.

Ha habido, además, otros espacios de debate. Algunos se remontan varias décadas, como el *Congreso Nacional sobre Ruido como Agente Contaminante*, celebrado en Zaragoza en 1987, donde se redactó una incipiente *Carta de la lucha contra el ruido*. Más recientemente, en la *I Conferencia Nacional de Ruido Ambiental (CRA)*, celebrada en Madrid en 2007 y organizada por los Ministerios de Medio Ambiente y Vivienda, se trató el papel de las Administraciones públicas, la formación e información, y la solución de conflictos. En ella, se llegó a un consenso sobre la necesidad de la participación ciudadana, cuyo éxito depende de la buena y accesible información que los poderes públicos y demás actores deban proporcionar (e. g. el anteriormente mencionado SICA), de manera que la estandarización de la misma y su difusión al público en general favorezcan el conocimiento de la situación acústica por parte de los ciudadanos, lo que redundará en una eficaz y responsable participación en la toma de decisiones (Pastor Sainz-Pardo, 2008). Allí se concluyó que la exposición es alta y la instrucción es baja, por lo que la formación continua de los técnicos también debe contribuir a reducir esta distancia.

A pesar de constatarse la creciente demanda social de una regulación más efectiva de las actividades que generan molestias por ruidos, la solución al problema de la contaminación acústica urbana (en su múltiple dimensión sanitaria, social, económica, urbanística e incluso en relación con la protección de los consumidores), a largo plazo requiere, entre otras medidas: la información (incluyendo el conocimiento de aspectos básicos de acústica), la progresiva sensibilización, toma de conciencia de los daños e inconvenientes del ruido, la educación de los ciudadanos, especialmente los más jóvenes, en cuanto a la entidad del mismo y el respeto hacia los demás (Sanz Sa, 1987), la responsabilidad individual frente a la colectividad y a los instrumentos disponibles para combatirlo, etc. En otras palabras, se trataría de decidir si afrontar el problema desde el punto de vista de la “prevención del ruido” o bien desde el “aislamiento acústico” (Herrera del Rey, 2013), lo cual es motivo de reflexión.

Hace mucho tiempo que en algunos países europeos, como Alemania, se ha manifestado el convencimiento de que la solución a los problemas ambientales urbanos constituye un auténtico cometido colectivo que no puede ser resuelto solamente con medidas legislativas, sino que exige la participación responsable de todos los interesados y afectados (Ortega Álvarez, 1995), aunando los esfuerzos de todos los organismos y entidades económicas, científicas y administrativas (Oels, 1965).

## **4. MARCO NORMATIVO SOBRE EL RUIDO AMBIENTAL**

En la actualidad existe ya un conjunto normativo relativamente amplio en el que se apoya la lucha contra la contaminación acústica. De hecho, el ruido puede ser objeto de cualquiera de los ámbitos u órdenes jurisdiccionales penal, civil, contencioso-administrativo, social, laboral, e incluso constitucional (Cano Murcia, 2004), como consecuencia del carácter transversal del problema, dada su afección en muy diversos ámbitos de la vida humana, así como de la heterogeneidad y multiplicidad de fuentes emisoras de ruidos, es decir, dónde y cómo se produzca. Ello justifica la atención que recibe en los últimos tiempos, así como la dificultad que su tratamiento jurídico presenta frente a otro tipo de contaminaciones, empezando, por ejemplo, por lo complicado de su propia definición jurídica dadas las connotaciones psicológicas que conlleva, o por lo difícil que resulta reconducir a una misma parcela jurídica todos los problemas derivados de esta contaminación en sus diferentes aspectos (Alonso García, 1995).

Según la *Sentencia del Tribunal Supremo de 24 de febrero de 2003*, desde un punto de vista jurídico se puede hablar de contaminación acústica a partir del momento en que se sobrepasan los límites tolerables para el ciudadano medio, valores que aparecen recogidos en las normas y reglamentaciones jurídicas.

Al socaire de la preocupación ambiental y la seriedad creciente de la contaminación acústica, se ha ido elaborando en los últimos años un cuerpo normativo cada vez más amplio. Se presentará en este capítulo una sucinta panorámica general de la regulación más significativa para este estudio<sup>9</sup>, así como de las disposiciones de organismos internacionales, remarcando los puntos más destacables de ellos. Dedicar atención a este tema está sobradamente justificado por la necesidad de identificar y sustentar, más adelante, criterios relevantes a la hora de valorar los impactos potenciales de la contaminación, su severidad y localización en el ámbito de estudio y para determinar las zonas y situaciones que requieren intervención correctora.

## **4.1. NORMATIVA Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES**

### **4.1.1. Unión Europea**

A nivel internacional, las normas más destacadas elaboradas por la Unión Europea muestran una especial preocupación por la protección, tanto de la sociedad en general como de los trabajadores, frente a las agresiones acústicas provocadas por agentes externos que inciden negativamente en la convivencia humana o en el trabajo. Éstas son:

---

<sup>9</sup> Es obligado e importante mencionar que el momento de referencia en esta investigación corresponde al año 2002, fecha en que fue publicado el Plano Acústico de Madrid del que provienen los datos de niveles sonoros empleados en el análisis y el cual constituye la fuente de información principal utilizada en la realización de este estudio. Con posterioridad, algunas de las referencias normativas han sido actualizadas por los legisladores, sin menoscabo de la validez de los resultados aquí obtenidos, a los que no afectan tales cambios normativos.

- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental<sup>10</sup>. Constituye la norma de referencia dentro de la política comunitaria para la lucha contra el ruido, en virtud de la protección del medio ambiente y la salud humana, y pretende aportar un marco común de entendimiento respecto al problema del ruido, en aras de evitar, prevenir o reducir sus efectos nocivos y de mantener la calidad del entorno acústico cuando ésta sea satisfactoria. En esta línea, la política aquí propuesta contempla la determinación de la exposición al ruido ambiental, la información a la población, sus efectos y la adopción de planes de acción.

Para ello, promueve que los datos sobre sus niveles se deban recabar, cotejar y comunicar con arreglo a criterios comparables y al uso de indicadores y métodos de evaluación comunes (que especifica en su Anexo II) entre los diferentes Estados miembros. Así mismo establece una serie de criterios armonizados relativos a la cartografía del ruido. Da potestad a cada país para fijar los valores límite admisibles y la adopción de planes de acción que deben atender las prioridades de determinadas zonas de interés, como consecuencia de la superación de dichos valores límite, corriendo su elaboración a cargo de las autoridades competentes, las cuales deben consultar a la población. La Comisión debe recibir informes de los Estados en relación con los aspectos recién comentados.

La Directiva tiene el propósito de sentar unas bases que permitan elaborar medidas comunitarias para reducir los ruidos emitidos por las principales fuentes, en particular vehículos e infraestructuras de carretera y ferrocarril, aeronaves, equipamiento industrial y de uso al aire libre, y máquinas móviles, no teniendo aplicación para las actividades domésticas, el lugar de trabajo, el interior de medios de transporte y las zonas militares.

También señala que las disposiciones técnicas relativas a los métodos de evaluación deben completarse y adaptarse, cuando resulte necesario, al progreso científico y técnico, es decir, a las mejores técnicas disponibles del momento (MTD).

- La política comunitaria en materia de medio ambiente se ha ido consolidando mediante programas de acción. El **V Programa Comunitario de Acción en Materia de Medio Ambiente** (1992-2000), anejo a la *Resolución del Consejo de las Comunidades Europeas, de 1 de febrero de 1993*, se refiere por una parte al ruido como uno de los problemas ambientales más urgentes en las zonas urbanas, así como a la necesidad de adoptar medidas con respecto a sus distintas fuentes, estableciendo objetivos de reducción en el periodo temporal considerado en lo que vendría a ser una futura política de disminución del ruido. Posteriormente, el **VI Programa de Acción** (2001-2010) destaca el ruido como

---

<sup>10</sup> Modificada por la *Directiva (UE) 2015/996 de la Comisión, de 19 de mayo de 2015, por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*.

agente contaminante especialmente preocupante y manteniendo la constante referencia a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos como objetivo y fin de la política comunitaria sobre medio ambiente. El **VII Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente** (2011-2020) fue diseñado en la misma que los anteriores, viniendo a consolidarlos.

- El **Libro Verde de la Comisión Europea sobre política futura de lucha contra el ruido (Documento COM(96) 540 final, Bruselas, 4 de noviembre de 1996)**, se puede decir que “ampara” la Directiva antes comentada, al insistir en la necesidad de establecer medidas e iniciativas específicas materializadas en una directiva sobre reducción del ruido ambiental, y poner de manifiesto la falta de datos fidedignos y comparables sobre la situación con respecto a las distintas fuentes de ruido en los Estados miembros (*Resolución de 10 de junio de 1997 del Parlamento Europeo, sobre el Libro Verde de la Comisión*). En este documento la Comisión Europea aborda el ruido ambiental causado por el tráfico, las actividades industriales y recreativas como uno de los problemas medioambientales locales más graves en Europa, que es origen de un número cada vez mayor de quejas por parte de la ciudadanía. Destaca asimismo que, sin embargo, por regla general, las acciones destinadas a reducir el ruido ambiental han sido menos prioritarias que las dirigidas a combatir otros tipos de contaminación, como la atmosférica o acuática. El Libro revisa las medidas comunitarias y nacionales adoptadas hasta la fecha y establece un marco de actuación para mejorar la información y que ésta sea comparable en el futuro.
- Además, existe una amplia legislación comunitaria relativa a la emisión de ruidos procedente de **determinadas fuentes**, con varias directivas sobre los vehículos de motor de dos o tres ruedas (D 92/61/CEE, modificada por la D 2000/7/CE), el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos a motor (D 1970/157/CEE, modificada y adaptada al progreso técnico por la D 1999/101/CE), el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de las motocicletas (D 78/1015/CEE, modificada por la D 89/235/CEE), las emisiones sonoras en el entorno debidas a las máquinas de uso al aire libre (D 2000/14/CE, modificada por la D 2005/88/CE), el nivel de emisión sonora admisible de distintos materiales, equipos e instalaciones (D 79/113/CEE, modificada y adaptada al progreso técnico por la D 85/405/CEE), el nivel sonoro en los oídos de los conductores de tractores agrícolas o forestales de ruedas (D 77/311/CEE, modificada por la D 97/54/CE), la limitación de las emisiones sonoras de las aeronaves subsónicas (D 80/51/CEE, modificada por la D 83/206/CEE), la limitación de emisiones sonoras de los aviones de reacción subsónicos civiles (D 89/629/CEE) y un largo etc.
- La Unión Europea también aporta otras indicaciones técnicas, como la **Recomendación de la Comisión 2003/613/CE, de 6 de agosto de 2003, relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial**,

**procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes.**

- Otra normativa comunitaria de interés es la constituida por la **Directiva 86/188/CEE, de 12 mayo, del Consejo, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos debidos a la exposición al ruido durante el trabajo**<sup>11</sup> con el objeto de proteger a los trabajadores contra los riesgos para su oído, su salud y seguridad, derivados de su exposición al ruido durante el trabajo.
- Es de destacar también el **Informe sobre las ciudades europeas sostenibles**, del Grupo de Expertos sobre Medio Ambiente Urbano de la Comisión Europea, realizado en el año 1996.

#### **4.1.2. Otros organismos internacionales de referencia**

A nivel internacional existen otros organismos de referencia que deben ser tenidos en cuenta:

- La **Organización de las Naciones Unidas (ONU)**, en la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo adoptada en la Conferencia celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992, estableció una serie de principios sobre la protección del medio ambiente en el ámbito de la preservación de la salud humana y del ecosistema de la Tierra, destacando instrumentos como las evaluaciones de impacto ambiental de cualquier actividad susceptible de producir cualquier efecto negativo (principio 17).

Además, se adoptó el denominado *Programa 21*, documento de estrategia global que, aunque sin valor jurídico obligatorio, establece los objetivos, actividades y medios necesarios para llevar a buen fin el desarrollo sostenible en áreas de actuación concretas, surgiendo así las *Agendas 21 Locales* (Juste Ruiz, 1999). En el apartado de *Protección y fomento de la salud humana* de este Programa se establece que *en los programas de acción nacionales que reciben asistencia, apoyo y coordinación internacionales, se debería incluir, cuando procediera, lo siguiente: [...] g) Ruidos: establecimiento de criterios para fijar niveles máximos permitidos de ruido, e incorporación de medidas de evaluación y control del nivel de ruido en los programas de higienización ambiental* (apdo. 6.41). También se prevé como objetivo básico la elaboración y promoción de políticas o programas orientados a limitar, reducir y controlar las emisiones perjudiciales en la atmósfera y otros efectos ambientales adversos procedentes del sector del transporte (apdo. 9.14), como fuente productora a su vez de contaminación acústica.

---

<sup>11</sup> Derogada por la *Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de febrero de 2003, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido)*.

- La **Organización Mundial de la Salud (OMS)** ha emitido diferentes documentos orientativos, estableciendo una serie de recomendaciones sobre criterios de valoración en relación con los niveles sonoros ambientales globales y sobre valores límite. Los más destacables son: *Community noise* (1995), *Guidelines for Community Noise* (1999), *Resume d'orientation des directives relatives au bruit dans l'environnement* (2000), etc.
- Otros organismos como la **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)** también han publicado orientaciones sobre la materia, e. g. *Lutter contre le bruit dans les années 90* (1991).
- La **Organización Internacional para la Estandarización (ISO)** es una federación mundial de institutos nacionales para la estandarización que viene publicando desde hace tiempo diversos documentos, entre los que destaca el *Estándar Internacional ISO 1996-2:2009, Acústica - Descripción y medida del ruido ambiental*, constituido por varias partes relativas a las medidas básicas para la descripción del ruido y procedimientos para su determinación, instrumentación, muestreo y adquisición de datos, aplicación de límites, etc.

El objetivo de las series ISO 1996 es proporcionar a las autoridades material para la descripción del ruido en entornos comunitarios. Este estándar internacional no especifica límites aceptables de ruido ambiental (asume que éstos son establecidos por las autoridades locales), aunque propone principios y guías para su especificación y determinación y describe procedimientos para comprobar y controlar su cumplimiento. Para cierto tipo de fuentes de ruido, remite a procedimientos más detallados, como por ejemplo aquéllos especificados en la norma *ISO 3891* relativos al ruido de aviones.

Otros estándares de interés son, por ejemplo, el Estándar Internacional *ISO 3744 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Engineering methods for free-field conditions over a reflecting plane*, *ISO 3891 Acoustics - Procedure for describing aircraft noise heard on the ground*, etc. Además, existen otras normas relativos a la instrumentación de medición.

- Aunque se aleja algo de los propósitos de esta investigación, otra norma internacional de interés es el Convenio núm. 148 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), de 20 de junio de 1977, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos profesionales debidos a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo (ratificado por España el 24 de noviembre de 1980).

## **4.2. REGULACIÓN ESTATAL**

Descendiendo al nivel estatal español, hasta hace poco tiempo no existía una legislación integrada de protección contra la contaminación por ruido, de manera que el



marco legal vigente se articulaba en torno a un amplio y disperso conjunto de reglamentos, leyes y normas, algunos preconstitucionales, con un enfoque muy sectorial, descoordinado o escasamente desarrollado en materia acústica, cuando no anticuado (Alonso García, 1995 y Pérez Martos, 2003), como el *Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas* (Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre)<sup>12</sup>, la *Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera*, las *Normas Básicas de la Edificación sobre Condiciones Acústicas en los Edificios*<sup>13</sup>, y un amplio etc. Dicha diversidad por sectores se ha mantenido en el tiempo, respondiendo a la ya mencionada heterogeneidad y multiplicidad de fuentes, así como a la distinta incidencia de los efectos de este agente contaminante, con la consiguiente dificultad y complejidad para afrontar su regulación de forma completa y sin lagunas (Pérez Martos, 2003). Sin embargo, se ha conseguido recientemente una normativa estatal específica que enmarca la gestión de la contaminación acústica, como se verá más adelante.

El panorama normativo más importante sobre la regulación de la contaminación acústica en España lo configuran las siguientes normas:

- En primer lugar, está aceptada la consideración de que el ruido atenta contra dos principios fundamentales reconocidos por la ***Constitución Española (CE) de 6 de diciembre de 1978*** con un carácter destacado, como son el derecho a la protección de la salud (arts. 43.1 y 43.2), el derecho al descanso (art. 40.2) y a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo (art. 45.1), ante los que el ruido participa como un agente perturbador y un modo de contaminación ambiental, limitando el ejercicio de los mismos. Para algunos autores (Martín Mateo, 1991 y Alonso García, 1995), el ambiente lo componen elementos naturales objeto de una protección específica, con titularidad común, como el aire y el agua, que son “vehículos básicos de transporte y factores esenciales para la existencia del hombre sobre la Tierra”.

Por otra parte, se debe hacer mención a la labor realizada por los Tribunales de Justicia que, haciéndose eco de la doctrina sentada por el Tribunal Europeo de Derechos Humanos, van instaurando en nuestra jurisprudencia una corriente doctrinal que cada vez va adquiriendo más cuerpo y en la que se ha concluido que el ruido es un agente vulnerador de los derechos fundamentales de la persona (Pérez Martos, 2003). Sin

---

<sup>12</sup> Derogado por la *Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera* (salvo en aquellas comunidades y ciudades autónomas que no tengan aprobada normativa en la materia, en tanto no se dicte dicha normativa).

<sup>13</sup> *Real Decreto 1909/1981, de 24 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-81 sobre condiciones acústicas en los edificios*, modificado por el *Real Decreto 2115/1982 de 12 de agosto (NBE-CA-82)* y posteriormente por la *Orden del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de 29 de septiembre de 1988*, pasando a denominarse *NBE-CA-88*, y derogado por el *Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico “DB-HR Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación*. La finalidad de esta normativa específica es la de proteger a los ocupantes de los edificios de las molestias físicas y psíquicas que ocasionan los ruidos, estableciendo las condiciones mínimas exigibles para mantener en ellos un nivel acústico aceptable.

embargo, existen otros derechos constitucionales que también se ven afectados, tal como la jurisprudencia está corroborando:

- Derecho a la calidad de vida (art. 45.2): concepto que se vincula al medio ambiente y está apoyado en la solidaridad colectiva. A él se refiere el Tribunal Constitucional en las STC 64/1982, STS 102/1995 y STC 119/2001, en las que se afirma que *“el ruido puede llegar a presentar un factor psicopatológico destacado en el seno de nuestra sociedad y una fuente permanente de perturbación de la calidad de vida de los ciudadanos”*, por la que, según el art. 45.3 CE, deben velar los poderes públicos, y cuyo reconocimiento, respeto y protección debe informar tanto la legislación, como la actuación administrativa y la práctica judicial.
- Derecho a la vida y a la integridad física y moral (art. 15), relacionado con el de protección de la salud (art. 43.1): la STC 119/2001 dice que *“cuando la exposición continuada a unos niveles intensos de ruido ponga en grave peligro la salud de las personas, esta situación podrá implicar una vulneración del derecho a la integridad física y moral. Si bien es cierto que no todo supuesto de riesgo o daño para la salud implica una vulneración del art. 15 CE, sin embargo, cuando los niveles de saturación acústica que deba soportar una persona, a consecuencia de una acción u omisión de los poderes públicos, rebase el umbral a partir del cual se ponga en peligro grave e inmediato la salud, podrá quedar afectado el derecho garantizado en el art. 15 CE”*.
- Derechos de la persona (art. 10.1): la dignidad de la persona, los derechos inviolables que le son inherentes, el libre desarrollo de la personalidad, el respeto a la ley y a los derechos de los demás son fundamento del orden político y de la paz social. En la STC 119/2001 se afirma que este derecho implica la *“existencia de un ámbito propio y reservado frente a la acción y el conocimiento de los demás, necesario, según las pautas de nuestra cultura, para mantener una calidad mínima de vida humana”*.
- Derecho al honor, a la intimidad personal y familiar y a la propia imagen (art. 18.1): la STC 119/2001 señala que *“una exposición prolongada a unos determinados niveles de ruido, que puedan objetivamente calificarse como evitables e insoportables, ha de merecer la protección dispensada al derecho fundamental a la intimidad personal y familiar, en el ámbito domiciliario, en la medida en que impidan o dificulten gravemente el libre desarrollo de la personalidad, siempre y cuando la lesión o menoscabo provenga de actos u omisiones de entes públicos a los que sea imputable la lesión producida”*.
- Derecho a la libre elección de domicilio o residencia (art. 19) y derecho a la inviolabilidad del domicilio (art. 18.2): la STC 119/2001 indica que *“según los casos, el ruido puede ser tan insoportable que obligue al dañado a cambiar su domicilio”*.
- Derecho a disfrutar de una vivienda digna y adecuada (art. 47): la STS 27 febrero 1996 afirma que *“por tratarse de actividad molesta, las medidas correctoras tratan de*

*compatibilizar el derecho a la libertad de empresa con el derecho de los ciudadanos al descanso, al disfrute de su vivienda, a una convivencia adecuada y a no percibir más ruidos que los autorizados y sean compatibles con los derechos afectados”.*

- Derecho a la seguridad pública (art. 17.1): en la STS 10 julio 1991 se dice que el concepto de “orden público” integra al de “tranquilidad pública”, a la que afecta, por ejemplo, la continuidad de apertura de un establecimiento público potencialmente molesto pasada la hora de su cierre obligado.
- Derecho a la propiedad privada (art. 33): uno de sus límites es el de las inmisiones en la propiedad ajena, no tratándose de un derecho absoluto, sino limitado por el de la colectividad o el de cada uno de los demás ciudadanos. Además, es un principio general reconocido, aquél por el que la libertad de cada uno termina donde comienza la del otro.
- Derecho a la libertad de empresa (art. 38): el derecho a concebir, establecer, mantener y disfrutar de una actividad empresarial no excluye el que sea disciplinado por otras normas, como su compatibilidad con los preceptos de los artículos 128 (función pública de la riqueza) y 131 (planificación de la actividad económica para atender a las necesidades colectivas) de la CE, y deben ser compatibles con él las medidas adoptadas para el mantenimiento de la calidad de vida y del medio ambiente (evitando efectos aditivos de una excesiva concentración en el espacio de ciertos usos), y para la seguridad y tranquilidad en las vías públicas.
- Hoy en día, la norma estandarte de referencia a nivel estatal es, sin duda, la **Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido**, surgida como transposición de la ya citada *Directiva 2002/49/CE* (modificada por la *Directiva (UE) 2015/996*). Se trata de una norma estatal básica con incidencia en todo el territorio nacional (al amparo de las competencias exclusivas que los arts. 149.1.16º y 23º de la *Constitución Española* otorgan al Estado en materia de bases y coordinación general de sanidad y de legislación básica sobre medio ambiente), que cubre la anterior ausencia de normas de este rango en la materia, cuya gestación ha despertado el interés de los medios de comunicación y ha sido el centro de numerosos debates.

Aunque esta ley se muestra como innovadora y necesaria, parece como si al leer su texto diese la impresión de que regulase una materia nueva (Cano Murcia, 2004); hay que tener presente sin embargo que desde hace tiempo los ayuntamientos, a través de ordenanzas municipales sobre ruidos, así como las Comunidades Autónomas, han tratado de poner solución a este problema, con resultados variables. De este modo, en su exposición de motivos se menciona que la trasposición de la *Directiva 2002/49/CE* “*ofrece una oportunidad idónea para dotar de mayor estructura y orden al panorama normativo español sobre el ruido, elaborando una ley que contenga los cimientos en que asentar el acervo normativo en materia de ruido que ya venía siendo generado anteriormente por las comunidades autónomas y entes locales*”.

El desarrollo y puesta en marcha de esta ley corresponde fundamentalmente a los ayuntamientos a través de la aprobación de ordenanzas municipales y del planeamiento urbanístico (art. 6), circunstancia justificada por otra parte porque, como dice el *Libro Verde de la Comisión Europea sobre política futura de lucha contra el ruido* (1996), se trata de un problema eminentemente local. Sin embargo, esta ley puede significar una intromisión en el campo de acción de las Comunidades Autónomas, con competencias transferidas en materia de protección del medio ambiente (art. 148.1.9º de la *Constitución Española*) y capacidad de establecer normas adicionales de protección a las ya dictadas en la legislación básica del Estado (art. 149.1.23º de la *CE*). En la hipotética pugna que pudiera producirse, los ayuntamientos, como entes ejecutores, serían los perjudicados, como ha sucedido en otras ocasiones (Cano Murcia, 2004). En cualquier caso, se abren las posibilidades de actuación de las administraciones locales, atribuyéndolas con carácter general la potestad sancionadora.

El objetivo de esta *Ley del Ruido* es triple: prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, y la finalidad última que persigue es evitar y reducir los daños que puedan derivarse para la salud humana, los bienes o el medio ambiente. Para su cumplimiento, despliega una serie de mecanismos preventivos, correctores, inspectores y sancionadores. La aplicación de la ley no recae sobre cualquier fuente de ruido, pues excluye la contaminación acústica originada en la práctica de actividades domésticas (por ejemplo equipos de refrigeración, ascensores, cortacéspedes, etc.) o las relaciones de vecindad, siempre y cuando no exceda de los límites tolerables de conformidad con los usos locales. Se excluye también la actividad laboral, para la que existe normativa sectorial aplicable (*Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales* y su normativa de desarrollo, *Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido*, etc.).

Por tanto, la atención de la Ley se centra en los emisores acústicos con origen en actividades sobre las que la Administración puede tener algún tipo de control (art. 18), ya sea a través de autorizaciones, licencias o permisos: actuaciones relativas al otorgamiento de la autorización ambiental integrada, evaluación de impacto ambiental u otras figuras de evaluación ambiental previstas en la normativa autonómica, licencia municipal de actividades clasificadas reguladas en su momento por el *Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas* (*Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre*) o en la normativa que resulte de aplicación, o en el resto de autorizaciones, licencias y permisos que habiliten para el ejercicio de actividades o la instalación y funcionamiento de equipos y máquinas susceptibles de producir contaminación acústica.

El contenido normativo de la Ley gira en torno a tres ejes, a modo de resumen:

### **Calidad acústica**

- Delimitación y clasificación de distintos tipos de áreas acústicas (art. 7): definición y fijación de objetivos de calidad acústica por el Gobierno (art. 8), delimitación de zonas de servidumbre acústica, especialmente las relativas de infraestructuras estatales (art. 10).
- Índices acústicos: determinación (art. 11), emisores acústicos (art. 12.2) y evaluación acústica (art. 13).
- Realización de mapas de ruido: identificación (art. 14), objetivos y delimitación (art. 15) y revisión (art. 16).

**Prevención y corrección de la contaminación acústica**, mediante la definición de instrumentos de prevención y control para procurar el máximo cumplimiento de los objetivos de calidad acústica que se adopten.

- Medidas preventivas: planificación territorial (art. 17) e intervención administrativa sobre los emisores acústicos (art. 18).
- Elaboración de planes de acción en materia de contaminación acústica: fines y contenido (art. 23), y revisión (art. 24).
- Medidas correctoras: declaración de Zonas de Protección Acústica Especial (ZPAE) en las áreas acústicas en las que se incumplan los objetivos de calidad acústica, para las que se elaborarán planes zonales específicos con medidas correctoras para la mejora acústica progresiva del medio ambiente (art. 25), y Zonas de Situación Acústica Especial, con medidas correctoras específicas a largo plazo, como consecuencia del incumplimiento de los objetivos acústicos en una ZPAE a pesar de las medidas correctoras de los planes zonales (art. 26).

Inspección y régimen sancionador

- Procedimientos de inspección (art. 27).
- Infracciones (art. 28), sanciones (art. 29) y potestad sancionadora (art. 30).
- Medidas provisionales (art. 31).

Finalmente, es importante mencionar la referencia que la Ley hace a la planificación territorial y al planeamiento urbanístico (arts. 17, 20 y disposición transitoria segunda). Por un lado, las áreas acústicas se clasifican (art. 7) en función de los usos predominantes del suelo establecidos por el planeamiento urbanístico, considerando:

- Sectores del territorio con predominio de suelo de *uso residencial*.

- Sectores del territorio con predominio de suelo de *uso industrial*.
- Sectores del territorio con predominio de suelo de *uso recreativo y de espectáculos*.
- Sectores del territorio con predominio de suelo de *uso terciario distinto del anterior*.
- Sectores del territorio con predominio de suelo de *uso sanitario, docente y cultural* que requiera de especial protección contra la contaminación acústica.
- Sectores del territorio afectados a *sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos* que los reclamen.
- *Espacios naturales* que requieran una especial protección contra la contaminación acústica.

El art. 17 declara que la planificación territorial y urbanística debe tener en cuenta las previsiones de esta Ley y las normas de desarrollo de la misma, correspondiendo a los ayuntamientos aprobar ordenanzas en relación con las materias objeto de esta Ley. Asimismo, los ayuntamientos deberán adaptar las ordenanzas existentes y el planteamiento urbanístico a las disposiciones en ella contempladas. El art. 20 prohíbe la concesión de nuevas licencias de construcción de edificaciones destinadas a viviendas, usos hospitalarios, educativos o culturales si los índices de inmisión medidos o calculados incumplen los objetivos de calidad acústica aplicables a las correspondientes áreas acústicas (con excepción de las Zonas de Protección Acústica Especial y Zonas de Situación Acústica Especial, en las que únicamente se exigirá el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en su espacio interior). Por otro lado, la planificación y el ejercicio de las competencias estatales, generales o sectoriales que incidan en la ordenación del territorio, la planificación general territorial, así como el planeamiento urbanístico, deberán tener en cuenta las previsiones establecidas en esta Ley y en sus desarrollos.

La *Ley del Ruido* proporciona la información y los criterios de actuación de las Administraciones Públicas competentes. Sin embargo, llama la atención que se refiere en multitud de ocasiones a su desarrollo normativo (se hacen referencias tales como “*el Estado creará...*”, “*El Gobierno aprobará reglamentariamente...*”, “*El Gobierno definirá, fijará...*”, “*... que se determinen reglamentariamente...*”, “*... que establezca el Gobierno*”, “*... serán determinados por el Gobierno*”, “*El Gobierno regulará...*”, etc.), en relación con muchas de las cuestiones en ella contenidas, como la información (art. 5), tipos de áreas acústicas (art. 7), fijación de objetivos de calidad acústica (art. 8), zonas de servidumbre acústica (art. 10), determinación de los índices acústicos (art. 11), valores límite de inmisión y emisión (art. 12), evaluación acústica (art. 13), identificación de los mapas de ruido (art. 14), fines y contenido de los mapas (art. 15) y de los planes (art. 23), así como en las disposiciones adicionales segunda (servidumbres acústicas de infraestructuras

estatales), séptima (información al público sobre determinados emisores acústicos), octava (información a la Comisión Europea) y duodécima (áreas acústicas de uso predominantemente industrial).

Esta necesidad del desarrollo reglamentario repercute, por un lado, en la imposibilidad de adaptar las ordenanzas municipales existentes (art. 6) y, por otro, de aplicar los distintos procedimientos previstos, según las atribuciones competenciales correspondan al Estado (infraestructuras viarias, ferroviarias, aeroportuarias y portuarias, así como obras de interés público, de competencia estatal, arts. 4.2 y 4.3), comunidad autónoma (según lo dispuesto en la legislación autonómica, y si el ámbito territorial del mapa de ruido excede de un término municipal, arts. 4.4.a y 4.4.b) o ayuntamiento (cuando el mapa de ruido no exceda de un término municipal, art. 4.4.b).

El esperado desarrollo que completa y precisa la *Ley del Ruido* vino de la mano de dos Reales Decretos posteriores:

En primer lugar, el ***Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental***, el cual se centra en un tratamiento más generalizado de la contaminación acústica, con especial atención a la actuación preventiva, la planificación acústica en la ordenación territorial y la incorporación de los conceptos de evaluación y gestión del ruido ambiental, con la finalidad de prevenir, reducir o evitar los efectos nocivos, incluyendo las molestias, derivados de la exposición al mismo. Desarrolla las nociones de ruido ambiental y sus efectos y molestias sobre la población, junto a una serie de medidas que permiten la consecución del objeto previsto como son los mapas estratégicos de ruido, los planes de acción y la información a la población. En tal sentido y según indica Urrutia Garro (2006), es un desarrollo parcial de la *Ley del Ruido*, pues sólo comprende la contaminación acústica derivada del ruido ambiental y la prevención y corrección de sus efectos en la población.

Esta norma regula la elaboración de los mapas estratégicos de ruido y planes de acción, que deben estar referidos a aglomeraciones urbanas de más de 250.000 habitantes, grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los 6 millones de vehículos al año, grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60.000 trenes al año y grandes aeropuertos, los cuales deben ser identificados por las administraciones competentes elaborando una relación que el Ministerio de Medio Ambiente debe comunicar a la Comisión Europea. La norma determina los requisitos mínimos que deben cumplir, el calendario de elaboración y los criterios para la delimitación territorial de las aglomeraciones. También establece los métodos de evaluación de los índices acústicos y de sus efectos nocivos sobre la población, cuya valoración se puede evaluar según las relaciones dosis-efecto. Se obliga igualmente a las administraciones competentes de elaborar planes de acción dirigidos a solucionar en su territorio las cuestiones relativas al ruido y sus efectos, y su reducción.

Este Real Decreto ha propiciado que, dentro de sus respectivas competencias, las distintas Administraciones Públicas, Administración General del Estado, Comunidades Autónomas y corporaciones locales hayan desarrollado acciones para la elaboración de los mapas estratégicos de ruido y de los planes de acción, utilizando indicadores de evaluación, metodologías y procedimientos homogéneos y comparables con los establecidos por la Unión Europea. Además, según señala Sanz Sa (2007), se completa la transposición de aquellos aspectos más técnicos de la *Directiva 2002/49/CE* que no fueron recogidos en la Ley. Finalmente, esta disposición fija instrumentos para el seguimiento y la remisión de información (*Comunicaciones*) a la Comisión Europea a través del Ministerio de Medio Ambiente.

El segundo desarrollo normativo, con el cual queda completado el ordenamiento jurídico aplicable a la contaminación acústica a nivel nacional, lo constituye el ***Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas***. Es una norma de carácter básico, aplicable por todas las Administraciones Públicas, cuyo cometido es asegurar unos objetivos mínimos comunes de calidad acústica ambiental en el ámbito estatal.

Además de indicar la clasificación y contenido mínimo de los mapas de ruido atendiendo a los objetivos a que se dirigen, este Real Decreto concreta el concepto de calidad acústica, definida al fijar los objetivos de calidad aplicables tanto a las áreas acústicas (espacio exterior) definidas en la *Ley del Ruido*, como al espacio interior de las edificaciones sensibles destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales, por ser éstas, dados los usos a que se destinan, las más influenciadas por la contaminación acústica. Se prevén los criterios para la zonificación acústica del territorio mediante la delimitación geográfica de los distintos tipos de áreas acústicas en que se divida, clasificadas atendiendo a los usos predominantes del suelo. A cada una de estas áreas se le asocia un objetivo de calidad acústica, entendiendo éstos como el conjunto de requisitos que, en relación con la contaminación acústica, deben cumplirse en un momento dado en un espacio determinado para garantizar un nivel mínimo de protección frente a ella. A la hora de establecer estos objetivos de calidad en el espacio exterior se tienen en cuenta, de acuerdo con la *Ley del Ruido*, tanto las situaciones presentes (áreas urbanizadas existentes) como las futuras (nuevos desarrollos urbanísticos). También se regulan los criterios de delimitación de las servidumbres acústicas afectas a infraestructuras de transporte y se prevé que los instrumentos de planificación territorial y urbanística incluyan la zonificación acústica y las zonas de servidumbre acústica establecidas en sus áreas de actuación. En definitiva, promueve que se trate de preservar la mejor calidad acústica que sea compatible con el desarrollo sostenible.



Esta norma también establece los procedimientos y métodos para la evaluación y gestión de la contaminación acústica y las vibraciones a través de nuevos indicadores, definiendo los índices de ruido que deben aplicarse para la evaluación de los objetivos de calidad acústica y los valores límite de inmisión, atendiendo a los distintos periodos temporales. Además, se constituyen también los procedimientos y métodos para la evaluación de los índices acústicos, permitiendo recurrir a procedimientos de cálculo (modelización por interpolación) o a procedimientos de medición “in situ” utilizando la instrumentación adecuada. Por otra parte, contempla los dos tipos de mapas de ruido siguientes: mapas estratégicos de ruido y mapas de ruido no estratégicos (*vid.* apartado 6.2.2.2.)

Se prevé que en aquellas zonas degradadas acústicamente en las que se superen los objetivos de calidad (identificadas con la ayuda de los mapas de ruido) se actúe para conseguir la mejora acústica progresiva del medio ambiente hasta alcanzar esos objetivos, mediante la elaboración y aplicación de los planes zonales específicos y los planes de acción a los que se refiere el art. 25.3 de la *Ley del Ruido*, de los que el Ministerio de Medio Ambiente debe informar a la Comisión Europea. Para ello, se determinan acciones prioritarias y se considera la introducción de las medidas técnicas correctoras más adecuadas (*e. g.* pantallas acústicas, pavimentos sono-reductores, aislamiento acústico, etc.). Es preciso destacar que las declaraciones de impacto ambiental ya venían exigiendo estos objetivos, por lo que el este Real Decreto regula con valor jurídico estos estándares que se han fijado tomando en consideración tanto factores de coste económico/beneficio ecológico, como los valores guía de niveles de ruido ambiental recomendados por la OMS.

El Real Decreto establece muchas otras de las previsiones contempladas en la propia *Ley del Ruido*, tales como la limitación, fijando los valores límite de las emisiones acústicas de los principales emisores (infraestructuras de transporte, actividades, etc.) de ruido y vibraciones. Se regula así el control de las emisiones de los diferentes emisores acústicos, incluidos los vehículos a motor y los ciclomotores, las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias, aeroportuarias, portuarias, las instalaciones, establecimientos y actividades de naturaleza industrial, comercial, de servicios o de almacenamiento, así como las condiciones para comprobar su cumplimiento. Se fijan asimismo los valores límite de inmisión exigibles a las nuevas infraestructuras de transporte y a las actividades en función del tipo de área acústica en que se zonifique el entorno de afección.

Por último, es de destacar lo que se refiere tanto a los objetivos de calidad acústica para el ruido en el ambiente exterior, como a los objetivos de calidad acústica de ruido y de vibraciones exigidos en el espacio interior habitable de las edificaciones, pues tienen importantes repercusiones sobre las condiciones acústicas requeridas en las edificaciones en relación con las normas básicas de la edificación. Se imbrica así, por tanto, con las normas de construcción y con los planes urbanísticos (Araújo Ponciano,

2007). Se trata, en definitiva, de que los “objetivos de calidad acústica” de la *Ley del Ruido* se alcancen de una forma armonizada y en concordancia con las “exigencias de aislamiento” de otra ley: la revisión de 2006 del *Código Técnico de la Edificación*. Por ello, ha sido necesario establecer la coordinación y concordancia entre estos valores y las exigencias de aislamiento acústico de fachadas e instalaciones de las edificaciones (Sanz Sa, 2007), previstas en el *Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido»*<sup>14</sup> del *Código Técnico de la Edificación*.

El conjunto de la Ley y los dos Reales Decretos recién comentados constituyen el soporte legislativo principal a nivel nacional en el que se enmarca la gestión de la contaminación acústica.

- Otra legislación básica del Estado, de interés en la materia, es la siguiente:

El recién mencionado *Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación* es un documento que completa el CTE, como instrumento normativo que regula las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones permitiendo dar satisfacción a los requisitos básicos de la edificación relacionados con la seguridad y el bienestar, y se aplica a los edificios nuevos, tanto a los destinados a viviendas como a los de uso sanitario, docente, administrativo, sociocultural, etc. Introduce elementos novedosos sobre materiales y técnicas de construcción para lograr edificios más libres de contaminación acústica, intentando poner fin a las molestias por ruidos generados tanto en el exterior como en el interior de las viviendas.

*Decreto 2107/1968, de 16 de agosto, sobre régimen de poblaciones con altos niveles de contaminación atmosférica o de perturbaciones por ruidos y vibraciones.*

*Decreto 1439/1972, de 25 de mayo, sobre homologación de vehículos automóviles en lo que se refiere al ruido por ellos producido, que fija el límite máximo para los distintos vehículos de tracción mecánica, incluidos los ciclomotores, y el modo de realizar el ensayo.*

*Real Decreto Legislativo 6/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial*, que prohíbe la emisión de perturbaciones electromagnéticas, ruidos, gases y otros

---

<sup>14</sup> Que actualiza al anterior *Real Decreto 1909/1981, de 24 de julio, Construcción, Norma Básica de la Edificación NBE-CA-81, sobre condiciones acústicas en los edificios* (modificado por el *Real Decreto 2115/1982, de 12 de agosto (NBE-CA-82)*, y posteriormente por la *Orden del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, de 29 de septiembre de 1988*, pasando a denominarse *NBE-CA-88*).

contaminantes en las vías objeto de esta Ley, por encima de las limitaciones reglamentariamente establecidas (art. 10.5).

Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo, que prohíbe la circulación de vehículos a motor y ciclomotores con el llamado escape libre, sin el preceptivo dispositivo silenciador, o provistos de uno incompleto, inadecuado, deteriorado o a través de tubos resonadores (art. 7).

Real Decreto 2822/1998, de 23 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos (y sus modificaciones), obligando al cumplimiento por parte de los vehículos de motor de las disposiciones establecidas sobre emisión de humos, gases contaminantes, ruidos, etc., en su Anexo I.

Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre (modificado por el Real Decreto 524/2006, de 28 de abril), que establece niveles límite de potencia acústica de estas máquinas así como su marcado CE de emisión sonora, con el fin de proteger la salud y el bienestar de las personas.

Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (y sus modificaciones), que establece que los edificios deberán proyectarse, construirse, mantenerse y conservarse de forma que se satisfagan los requisitos básicos de protección contra el ruido, para que éste no ponga en peligro la salud de las personas y les permita realizar satisfactoriamente sus actividades.

Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad.

Ley Orgánica 4/2015, de 30 de marzo, de protección de la seguridad ciudadana.

Real Decreto 2816/1982, de 27 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento General de Policía de Espectáculos Públicos y Actividades Recreativas (derogado parcialmente por el Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia).

- Al margen de la legislación básica, mediante la legislación sectorial el Estado también puede establecer restricciones, limitaciones o imposiciones dirigidas a la prevención del

ruido como factor desencadenante de la contaminación acústica. De entre la amplia normativa al respecto cabe destacar, por ejemplo, la Ley 22/1988, de 28 de julio, de costas, que prohíbe la publicidad por medios acústicos en la zona de servidumbre de protección (art. 25), o la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de conservación de los espacios naturales y de la flora y fauna silvestres, 15 que tipifica como infracción administrativa *la emisión de ruidos que perturben la tranquilidad de las especies en espacios naturales protegidos* (art. 38.4).

### 4.3. REGULACIÓN AUTONÓMICA

La distribución de competencias sobre el ruido parte del propio diseño competencial en materia de protección del medio ambiente, establecido en el art. 149.1.23º de la *Constitución Española*, según el cual corresponde al Estado la elaboración de la normativa básica, sin perjuicio de las facultades otorgadas a las Comunidades Autónomas de establecer normas adicionales de protección. Por su parte, el art. 148.1.9º de la Constitución dice que las CC. AA. podrán asumir competencias de gestión en materia de protección del medio ambiente. En virtud de ello, muchas han dictado disposiciones específicas a lo largo de los últimos años (leyes o decretos de protección ambiental, de ruido, de actividades clasificadas, de espectáculos públicos y actividades recreativas, etc.). Por su parte, la *Ley del Ruido*, como norma estatal básica, asume esta transferencia de competencias (art. 4).

A continuación se comenta la legislación autonómica madrileña, por su incidencia en el área geográfica objeto de estudio:

- Hasta la aprobación del **Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid**<sup>16</sup>, la legislación autonómica propia que, de algún modo, hacía referencia al problema de la contaminación acústica, apenas se limitaba a la Ley 10/1991, para la Protección del Medio Ambiente y la Ley 17/1997, de Espectáculos Públicos y Actividades Recreativas, sin existir una normativa aplicable a toda la Comunidad de Madrid que regulara el régimen de protección contra la contaminación acústica. La regulación contenida en este Decreto viene legitimada por la ya mencionada facultad que corresponde a las comunidades autónomas sobre el desarrollo legislativo, la potestad reglamentaria y la ejecución en materia de protección del medio ambiente, así como de establecer normas adicionales de protección, respecto de la legislación básica del Estado.

---

15 Derogada por la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

<sup>16</sup> Cuya derogación ulterior en 2012 por el Decreto 55/2012 se comenta más adelante en este texto. Pese a ello, se cita por mantenerse vigente cuando fue publicado el Plano Acústico de Madrid de 2002 del que provienen los datos de niveles sonoros empleados en el análisis y el cual constituye la fuente de información principal utilizada en la realización de esta investigación.

Su finalidad es la de facilitar la regulación del ruido y las vibraciones en todos los municipios de la Comunidad de Madrid, proporcionando unas prescripciones técnicas de medida comunes que permitan la comparación de los valores en todo el territorio de la misma, así como servir de base para la elaboración o adaptación de las ordenanzas municipales de los ayuntamientos, que en ningún caso podrán superar los límites fijados en esta norma.

El Decreto hace especial hincapié en la prevención de la contaminación acústica, estableciendo valores límite relacionados con los usos del suelo, integrando las medidas de protección con el planeamiento urbanístico y resaltando la importancia de la vertiente acústica en los procedimientos de evaluación de impacto ambiental y calificación ambiental de determinadas actividades. Por otra parte, lo dispuesto en él no es de aplicación a las infraestructuras aeroportuarias de competencia estatal.

A diferencia de la *Ley 37/2003, del Ruido*, este Decreto, así como sucede con otras legislaciones autonómicas, no es muy proclive a imponer medidas al planeamiento como forma de control del ruido, de manera que son las normas sectoriales al urbanismo las que exigen el cumplimiento de unos mínimos con los que atajar a la contaminación acústica. Aun así, dentro del apartado de prevención de la contaminación acústica, el art. 24 dispone que “*los Planes Generales de Ordenación Urbana, las Normas Subsidiarias de Planeamiento y cualquier otra figura de planeamiento urbanístico a nivel municipal o inferior, tendrán en cuenta los criterios establecidos por este Decreto en materia de protección contra la contaminación acústica*”. En particular, hace referencia a que:

- Los usos generales y pormenorizados del suelo tendrán en cuenta el principio de prevención de los efectos de la contaminación acústica.
- La ubicación, orientación y distribución interior de los edificios destinados a los usos más sensibles desde el punto de vista acústico se planificarán con vistas a minimizar los niveles de inmisión en los mismos, adoptando diseños preventivos y suficientes distancias de separación respecto a las fuentes de ruido más significativas y, en particular, el tráfico rodado.
- Las figuras de planeamiento urbanístico general deben incorporar al menos los siguientes aspectos considerados en los planes de actuación establecidos por la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional:
  - Planos que reflejen con suficiente detalle los niveles de ruido en ambiente exterior.
  - Adopción de criterios de zonificación de usos para prevenir el impacto acústico.
  - Propuesta de calificación de áreas de sensibilidad acústica.

- Medidas generales previstas en la ordenación para minimizar el impacto acústico.
- Limitaciones en la edificación y en la ubicación de actividades contaminantes por ruido a incorporar en las ordenanzas urbanísticas.
- Requisitos generales de aislamiento acústico de los edificios en función de los usos previstos para los mismos y de los niveles de ruido estimados en el ambiente exterior.

A modo de resumen, el Decreto se articula de acuerdo al siguiente esquema:

- **Control de los niveles de ruido**
  - Clasificación de áreas de sensibilidad acústica en ambiente exterior e interior (art. 10).
  - Niveles y valores límite para la evaluación de la contaminación acústica (arts. 11 a 17).
- **Actuaciones de prevención de la contaminación acústica**
  - Procedimientos de evaluación de la incidencia acústica de las actividades a través de los instrumentos de evaluación de impacto ambiental y calificación ambiental (arts. 18 a 23).
  - Integración del ruido en la planificación urbanística (art. 24).
  - Áreas de protección de sonidos de origen natural (art. 25).
  - La consideración del ruido procedente del tráfico rodado (art. 26).
  - Las condiciones acústicas exigibles a las edificaciones (art. 27).
  - Mapas de ruido (art. 28).
- **Ordenación de determinadas actividades potencialmente contaminantes por ruido**
  - Vehículos a motor (art. 29).
  - Trabajos en la vía pública, obras públicas y edificaciones (art. 30).
  - Sistemas de alarma (art. 31).
- **Corrección de la contaminación acústica**
  - Vigilancia de la misma (art. 32).
  - Declaración de Zonas de Situación Acústica Especial (arts. 33 y 34).
- **Instrumentos económicos**

- Establecimiento de instrumentos económicos y financieros tendentes a incentivar las actuaciones de prevención y corrección de la contaminación acústica (art. 35).
- Convenios entre la Comunidad de Madrid y los ayuntamientos con el fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos del Decreto (art. 36).
- **Disciplina en materia de contaminación acústica**
  - Inspección, vigilancia y control (arts. 37 a 39).
  - Responsables de la misma (art. 40).
  - Establecimiento de medidas cautelares (art. 41).
  - Infracciones, sanciones y competencia sancionadora (arts. 43 y 44).

Finalmente, hay que comentar que este *Decreto 78/1999* fue derogado por el *Decreto 55/2012, de 15 de marzo, del Consejo de Gobierno de la Comunidad de Madrid, por el que se establece el régimen legal de protección contra la contaminación acústica en la Comunidad de Madrid*, al considerar que la legislación básica estatal cubre plenamente las necesidades relativas a la protección de la contaminación acústica en su ámbito territorial y hace innecesaria la regulación contenida en dicho Decreto (Ayto. de Madrid, 2011 b), determinando que el régimen jurídico aplicable en la materia pasará a ser el definido por la legislación estatal.

- La **Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid**<sup>17</sup>, hace algunas referencias al ruido, esencialmente en las partes dedicadas a la evaluación de impacto ambiental. En los arts. 28 y 44 enuncia que para las instalaciones o actividades catalogadas como potencialmente contaminantes por ruido o vibraciones, el Estudio de Impacto Ambiental o, en su caso, el Proyecto Técnico de Evaluación Ambiental de la misma deberán contener la información exigida por la normativa vigente en la Comunidad de Madrid, en la materia. Asimismo (art. 44), “*deberán incluir una memoria ambiental detallada de la actividad o el proyecto que contenga, al menos: [...] b) La composición de las emisiones gaseosas, de los vertidos y de los residuos producidos por la actividad, con indicación de las cantidades estimadas de cada uno de ellos y su destino, así como los niveles de presión sonora y vibraciones emitidos. [...]*”. Respecto al Procedimiento de análisis ambiental del planeamiento urbanístico, el art. 21 contempla que “*el estudio de la incidencia ambiental del mismo deberá contener cuantas cuestiones sean exigidas por la normativa ambiental específica de aplicación al planeamiento en la Comunidad de Madrid y, al menos, aquellas relacionadas con el saneamiento, depuración, evacuación de aguas pluviales, residuos y contaminación acústica*”. En cuanto al Régimen

---

<sup>17</sup> Derogada parcialmente por la *Ley 4/2014, de 22 de diciembre, de Medidas Fiscales y Administrativas* para dar aplicación directa a la nueva *Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental*, que establece un nuevo régimen básico estatal.

sancionador, el art. 59 dice que “Son infracciones graves: g) La descarga en el medio ambiente de productos o sustancias tanto en estado sólido, líquido o gaseoso, o de formas de energía, incluso sonora, que ponga en peligro la salud humana y los recursos naturales, suponga un deterioro de las condiciones ambientales o afecte al equilibrio ecológico en general...”.

- Otras normas autonómicas madrileñas de interés son:
  - Ley 17/1997, de Espectáculos Públicos y Actividades Recreativas, que dicta que los locales y establecimientos a los que se aplica esta Ley reunirán las condiciones de salubridad, higiene y acústica, determinando expresamente las condiciones de insonorización de los locales necesarias para evitar molestias a terceros (art. 6).
  - Decreto 184/1998, del Catálogo de Espectáculos Públicos, Actividades Recreativas, Establecimientos, Locales e Instalaciones, que obliga a la insonorización de estos espacios mediante limitadores del nivel de ruido y dobles puertas, a fin de garantizar el derecho al descanso de los vecinos colindantes (disposición adicional primera).
  - Orden 1562/1998, sobre el régimen relativo a horarios de los locales de espectáculos públicos y actividades recreativas, mediante la que se reducirá el horario de apertura cuando la actividad que desarrollan impida el derecho al descanso de los vecinos (art. 6).

#### **4.4. REGULACIÓN LOCAL**

Según la naturaleza marcadamente local del problema del ruido urbano, la respuesta pública, en la práctica, debe venir fundamentalmente del ámbito de actuación de los entes locales. De hecho, el control de la contaminación acústica por parte de los ayuntamientos es una consecuencia inmediata de la competencia que éstos tienen atribuida sobre protección del medio ambiente por el art. 25.2.f, en relación con el art. 26.1.d, de la *Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local (LRBRL)*<sup>18</sup>, aunque en dicha Ley se echa en falta una mención expresa al problema del ruido, a pesar de existir ya conciencia de su gravedad en el momento de su formulación (Martín-Retortillo Baquer, 1996). Sin embargo, los ayuntamientos no tienen asumidas competencias en lo referido a aeropuertos de interés general, ferrocarriles de largo recorrido y autopistas estatales. Por otra parte, esta competencia se completa con la imposición a los municipios de la responsabilidad del control sanitario de los ruidos, según el art. 42.3.b de la *Ley General de Sanidad, de 25 de abril de 1996*. La *Ley 38/1972, de Protección del Ambiente Atmosférico* también imponía a los ayuntamientos la adopción de medidas de protección del medio ambiente, si bien fue

---

<sup>18</sup> Modificada por la *Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio*, la *Ley 2/2011, de 4 de marzo, de economía sostenible*, y la *Ley 27/2013, de 27 de diciembre, de racionalización y sostenibilidad de la administración local*.



derogada por la *Ley 34/2007, de calidad del aire*, que excluye de su ámbito de aplicación lo relativo a ruido y vibraciones para que estas materias sean regidas por su normativa específica (art. 2).

Tanto las ordenanzas municipales como el planeamiento territorial y urbanístico se deberán adaptar a la *Ley 37/2003, del Ruido* y sus normas de desarrollo. Pero dicha Ley, por su parte, también otorga competencias a los ayuntamientos para la elaboración de los mapas de ruido que no excedan de su término municipal (art. 4.4.b), y atribuye a las ordenanzas locales en materia de ruido la tipificación de infracciones en relación con el ruido procedente de los usuarios de la vía pública y el producido por las actividades domésticas o los vecinos (art. 28.5).

El protagonismo de los ayuntamientos se ha ido acrecentando recientemente como consecuencia de la aprobación por parte de las CC. AA. de diversas normas (ordenanzas tipo) tendentes a dotar a todos los municipios de su ámbito territorial de un instrumento legal y un contenido mínimo y uniforme (Cano Murcia, 2004), si bien con anterioridad muchos ayuntamientos ya habían dictado ordenanzas municipales sobre ruidos y vibraciones, ya fuera de forma específica, o incluyendo estas materias en normas de contenido más general, como por ejemplo las referidas al medio ambiente.

Es por todo ello por lo que las administraciones municipales o locales de la Comunidad de Madrid han dado lugar en el terreno normativo a la elaboración de ordenanzas municipales de protección ambiental o de protección contra la contaminación por ruido y vibraciones. Sin embargo, en 1997 sólo 28 de sus municipios disponían de ordenanzas específicas en la materia, de las que gran parte se mostraban insuficientes o técnicamente desfasadas para garantizar una acción efectiva en la lucha contra la contaminación acústica, especialmente en la ejecución de las labores de inspección de actividades contaminantes por ruido (según el *Decreto 78/1999, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid*).

- En virtud de las competencias transferidas a la Administración local en el municipio de Madrid, y de cara a este estudio, resulta clave la ***Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano - Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía, aprobado en la Sesión Plenaria del 31 de mayo de 2001***. Esta Ordenanza tiene un largo recorrido, pues es el resultado de la evolución de la primera *Ordenanza Reguladora de la Actuación municipal para combatir en Madrid la Contaminación Atmosférica* de 1968, y de la primera *Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente contra la emisión de Ruidos y Vibraciones* de 1969 (pionera de este tipo en España). Tras diversas modificaciones y ampliaciones, en 1985 se unificaron todas las ordenanzas relacionadas con aspectos medioambientales de Madrid en la *Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano*, constando de cinco libros que a su vez fueron sufriendo varias modificaciones. De ellos, el Libro II es el

de interés aquí, relativo a la contaminación acústica, por radiaciones ionizantes y térmicas, cuya última modificación fue en 2001.

La ordenanza se refiere a la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen riesgo, daño o molestia para las personas, el desarrollo de sus actividades y bienes de cualquier naturaleza, o causen perjuicio para el medio ambiente. Asimismo, sus prescripciones son igualmente exigibles para cualquier otra actividad o comportamiento individual o colectivo que, aún no estando sujeto a licencia municipal, sea evitable técnicamente o con la observancia de una conducta cívica normal.

La Ordenanza clasifica a efectos acústicos el suelo urbano y urbanizable en diferentes áreas de recepción acústica o áreas acústicas<sup>19</sup>, conforme a la tipología de usos siguiente (art. 91):

- TIPO I: Área de silencio (equipamiento sanitario y de bienestar social).
- TIPO II: Área levemente ruidosa (residencial, dotacional educativo, cultural, religioso y zonas verdes, excepto de transición).
- TIPO III: Área tolerablemente ruidosa (terciario hospedaje, terciario oficinas, dotacional servicios Administraciones Públicas, terciario comercial, dotacional deportivo y terciario recreativo y espectáculos, a excepción de actuaciones al aire libre, con aforo no definido por el número de asientos).
- TIPO IV: Área ruidosa (dotacional servicios públicos, industrial, dotacional servicios infraestructuras y transporte/intercambiador).
- TIPO V: Área especialmente ruidosa (dotacional ferrocarriles y carreteras, actuaciones al aire libre, dotacional transporte aéreo).

Se considera el  $L_{Aeq}$  como el indicador acústico adecuado, expresado en dBA, y se especifican los periodos temporales de medición de los niveles sonoros ambientales, así como los valores de los límites máximos que no deben ser superados en las distintas áreas en el suelo urbano y urbanizable (valores objetivo a alcanzar por la actuación municipal), tanto para focos emisores concretos, como para los niveles acústicos ambientales.

Las áreas en las que se incumplan los objetivos de calidad acústica que les corresponden serán declaradas Zonas de Actuación Acústica (ZAA), y se perseguirá en

---

<sup>19</sup> También denominadas “áreas de sensibilidad acústica” en el *Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid*, art. 10.

ellas la progresiva reducción de los niveles sonoros ambientales, a través de una serie de medidas correctoras, hasta alcanzar los niveles establecidos para el tipo de área de que se trate.

La ordenanza también dedica varios capítulos relativos a las condiciones acústicas de la edificación (edificios en general, establecimientos de pública concurrencia, medidas a adoptar en las nuevas edificaciones, urbanizaciones y establecimientos de pública concurrencia, etc.), vehículos de motor, uso de sistemas de sirenas, alarmas y reclamo, obras y actividades varias (trabajos de construcción/derribo de edificios o infraestructuras, instalación/retirada de contenedores, obras en interior de viviendas, carga/descarga, reparto, recogida municipal de residuos urbanos, etc.).

Finalmente, establece un catálogo de infracciones en materia de contaminación acústica y regula igualmente el régimen disciplinario y sancionador, la prevención, vigilancia y control de su aplicación y la adopción de medidas cautelares y provisionales que debe llevar a cabo la Administración local (órgano ambiental municipal competente) ante una infracción (suspensión de obras o actividades, clausura de la instalación o establecimiento, precinto del foco emisor, inmovilización de vehículos, etc.).

- La recién comentada Ordenanza de 2001 fue derogada<sup>20</sup> por la posterior Ordenanza Municipal de Protección de la Atmósfera contra la Contaminación por Formas de Energía, aprobada por Acuerdo del Pleno del Ayuntamiento de Madrid de 31 de mayo de 2004. En realidad, esta nueva ordenanza consiste en la regulación de forma separada de las materias incluidas en el Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía de la anterior ordenanza. Esta modificación normativa surge como consecuencia casi obligada de las nuevas leyes estatales y de la Comunidad de Madrid, haciéndose eco de las directrices establecidas respecto a la contaminación acústica y los avances técnicos encaminados a su control en la Ley 37/2003, del Ruido y la Ley 2/2002, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid fundamentalmente, dotando de nuevos mecanismos de intervención a la Administración local, como ente público competente. Responde así, por un lado, a la necesidad de introducir los nuevos procedimientos de evaluación de actividades y las obligaciones derivadas de la aplicación de la nueva normativa, por otro, a actualizar el régimen de infracción y sanción establecido en materia de contaminación acústica y, por último, a disgregar la materia de la antigua Ordenanza General, perfeccionando determinados artículos.

Están sometidas a esta Ordenanza todas las actividades, instalaciones, establecimientos, edificaciones, equipos, maquinaria, obras o vehículos que en su funcionamiento generen algún tipo de contaminación acústica, poco recomendable desde

---

<sup>20</sup> Pese a su derogación ulterior, se comenta aquí esta Ordenanza de 2001 por ser la vigente cuando fue publicado el Plano Acústico de Madrid de 2002 del que provienen los datos de niveles sonoros empleados en el análisis y el cual constituye la fuente de información principal utilizada en la realización de esta investigación.

el punto de vista sanitario, del bienestar o de la productividad. Pese a que existe aparte una Ordenanza municipal reguladora de la publicidad exterior, se da cabida aquí también a los medios publicitarios sonoros. Las actividades, instalaciones y obras autorizadas antes de la entrada en vigor de la Ordenanza deberán adecuarse a ella según lo dispuesto en su Cláusula Transitoria. Las ordenanzas locales pueden tipificar infracciones en relación con el ruido producido por actividades domésticas o los vecinos, pese a su exclusión del ámbito de la *Ley del Ruido*, cuando exceda de los límites tolerables de conformidad con los usos locales (art. 28.5 de la Ley).

Al igual que la Ordenanza de 2001 y, de acuerdo con la zonificación acústica del territorio y objetivos de calidad fijados en la *Ley 37/2003, del Ruido* (art. 7), la ordenanza clasifica el suelo urbano y urbanizable en diferentes áreas acústicas (art. 9):

Allí donde se incumplan los objetivos de calidad acústica la Ordenanza contempla la declaración de Zonas de Protección Acústica Especial (ZPAE), en las que se elaborarán Planes Zonales Específicos que deben recoger las medidas correctoras aplicables (prohibición o limitación de actividades, aislamientos, espacios de servidumbre, regulación del tráfico, etc.) para conseguir la progresiva reducción de los niveles sonoros ambientales hasta alcanzar los objetivos de calidad, es decir, los adecuados para el tipo de área acústica de que se trate. A este respecto, se prestará especial preferencia a las inmediaciones de colegios, hospitales, residencias de mayores, etc. En caso de que no se alcancen los objetivos acústicos, se prevé la declaración de Zona de Situación Acústica Especial.

La ordenanza dedica varios capítulos a las condiciones acústicas de la edificación, vehículos de motor, sirenas, alarmas y reclamo y a las obras y actividades varias.

Para el caso de la construcción de nuevas infraestructuras de transporte o ampliación de las ya existentes, el Ayuntamiento exigirá el estricto cumplimiento de la *Ley del Ruido*, especialmente en lo que se refiere a la responsabilidad del titular o promotor, de adoptar las oportunas medidas correctoras para garantizar los límites establecidos en la Ordenanza.

Para concluir, hay que comentar que esta ordenanza fue derogada por la posterior ***Ordenanza de Protección contra la Contaminación Acústica y Térmica, aprobada por Acuerdo del Pleno del Ayuntamiento de Madrid de 25 de febrero de 2011***, para terminar de adaptarse a las disposiciones establecidas en la *Ley 37/2003, del Ruido* y sus desarrollos (*Real Decreto 1513/2005 y Real Decreto 1367/2007*).

#### **4.5. CONSIDERACIONES FINALES**

Al hilo de la problemática que a nivel doctrinal y jurisprudencial suele suscitar el medio ambiente (Vera Jurado, 1994), es preciso añadir que la contaminación acústica tiene cabida en gran cantidad de ámbitos sectoriales que la tratan transversalmente, de modo que se puede hacer alusión a legislación complementaria que hace referencia a la misma, como es el caso, entre otras, de la:

- Legislación en materia de sanidad.
- Legislación en materia de conservación de parques y espacios naturales.
- Legislación en materia de espectáculos públicos y actividades recreativas.
- Legislación en materia de actividades clasificadas.
- Legislación en materia de construcción de edificios.
- Legislación en materia de turismo y hostelería.
- Legislación en materia laboral.

Según indica Pastor Sainz-Pardo (2008), en el problema del ruido se producen conflictos de diferentes derechos: descanso, medio ambiente, disfrute, y la interpretación jurisprudencial no siempre es clara sobre la relación directa entre los daños. Parece que las recientes sentencias dan prevalencia al derecho a la salud (descanso y sueño) sobre otros como el del ocio o la actividad económica.

De la sucinta presentación aquí realizada del amplio cuerpo normativo existente en materia de contaminación acústica, queda patentizada la notable regulación de los procesos y fenómenos acústico-ambientales y también su carácter relativamente reciente, lo que refleja la creciente consideración con la que los gobiernos afrontan este problema, en respuesta a la conciencia y preocupación manifestadas por los ciudadanos. El contenido de las normas traduce ya el trascendental hecho de que el componente sonoro, junto con otros, configura ambientes para la vida humana cuya calidad ha de protegerse como un derecho básico. La Administración dispone así de un marco para actuar sobre los problemas derivados del ruido con medidas preventivas y de control, pero también sancionadoras, en defensa y salvaguarda de esos derechos y valores de los ciudadanos, en lo que a calidad de vida se refiere, según señala Cano Murcia (2004). En este sentido, la actuación administrativa municipal ha de tener un papel efectivo y claridad en los puntos relativos a la planificación, financiación y puesta en práctica de las medidas necesarias.

La adopción de una normativa básica y de programas de carácter global que respondan a un cuadro bien definido y orientado hacia el futuro, fijando claramente los objetivos, prioridades y medios para su aplicación, mejora la coherencia de los diversos organismos implicados y palia los inconvenientes de un sistema de reglamentaciones dispersas (generalmente para ciertas fuentes tratadas de forma independiente), utilizado en la mayoría de los países europeos hasta la aprobación de la *Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*.

La aplicación de todos los instrumentos establecidos y el cumplimiento de los plazos marcados suponen, sin duda, un esfuerzo notable, del que cabe esperar que sus resultados surtan efecto en un plazo temporal relativamente corto.

Finalmente, cabe comentar que en el lapso de tiempo que ha durado la realización de esta investigación algunas de las referencias normativas que afectan a la materia (y por tanto recogidas en esta memoria) han sido actualizadas por los legisladores, sin menoscabo de la validez de los resultados aquí obtenidos, a los que no afectan tales cambios normativos, destacando, tal cual se ha mencionado en este capítulo, el desarrollo de la *Ley 37/2003, del Ruido* por medio de los *Reales Decretos 1513/2005 y 1367/2007*, la derogación de la *Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano del Ayuntamiento de Madrid de 2001* por la de 2004, y de ésta última a su vez por la de 2011, y la derogación del *Decreto 78/1999 por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid* en 2012. Los análisis y la valoración de resultados de esta investigación se han realizado en virtud de la legislación vigente y aplicable en el momento al que corresponden los datos utilizados, para conseguir una lógica coherencia, insistiendo, una vez más, en el hecho de que dichos cambios normativos no afectan a los procedimientos y análisis aquí realizados.

## **5. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

## **5.1. HIPÓTESIS Y PREGUNTAS**

En esta investigación se abordan ciertas cuestiones concernientes a la relación hombre-medio, en concreto sobre el problema de la contaminación acústica urbana, aquí estudiado desde una perspectiva geográfico-ambiental. A continuación se exponen las hipótesis, formuladas a modo de cuestiones o enunciados tentativos y predictivos sobre los resultados esperados en el trabajo.

Existen dos supuestos básicos en el diseño de este estudio que, más que sentencias hipotéticas, se corresponden con hechos ya comprobados y contrastados científicamente. El motivo de citarlos es que proporcionan la base sobre la que se sustenta este estudio, es decir, se trata de premisas fundamentales y subyacentes aceptadas, que confieren interés y relevancia al mismo:

- El ruido produce afecciones sobre la salud. Este es un hecho que involucra a la subjetividad, dependiente de los mecanismos de la percepción y las características propias de cada individuo, e incluso de determinados factores poblacionales y/o culturales. Está aceptado que existe una relación causal entre un elevado nivel sonoro y el grado de molestia en los sujetos perceptores.
- Las áreas urbanizadas, en este caso del municipio de Madrid, son las que cobran más interés debido a que en ellas es donde se asienta y hace vida la mayor parte de la población y, por tanto, donde los niveles de ruido ambiental van a producir una mayor afección sobre la misma.

Establecido lo anterior, procede explicitar las hipótesis que en este trabajo se plantean, o las preguntas que avista responder:

- ¿Qué indicadores de sonido ambiental resultan apropiados para describir y valorar ese componente del medio urbano?, ¿qué interpretación puede hacerse de los mismos?
- ¿Qué niveles acústicos posee la ciudad de Madrid? ¿son éstos tan elevados como parece apuntar la opinión pública o por el contrario son mayoritariamente aceptables?
- ¿Qué variaciones espaciales intraurbanas existen?
- ¿Qué oscilaciones temporales (diarias) emergen?, ¿dónde son más y menos intensas?
- ¿Qué tendencias y valores/situaciones extremos cabe identificar en el medio acústico madrileño? ¿Dónde afloran?



- Dado que los distritos urbanos se constituyen en unidades de gestión destacadas en el organigrama del Ayuntamiento madrileño, ¿qué rasgos sonoros presenta el ambiente de cada distrito respecto al de los demás?, ¿en cuáles existe una situación mejor o peor?
- Si se utilizan los límites recomendados por la normativa sobre el ruido urbano, ¿en qué medida se cumplen en Madrid?, ¿son las zonas del centro las que exceden en mayor grado el límite conveniente?, ¿qué se observa en las otras zonas interiores o en la periferia?
- ¿Es adecuado el ambiente acústico madrileño para las actividades que en la ciudad se realizan?, ¿qué valoración se puede hacer de la idoneidad del ambiente sonoro de algunos equipamientos sensibles de la ciudad?, ¿resultan aceptables o, por el contrario, no?

La toma de datos de los niveles sonoros, con la cual se confeccionó el Plano Acústico de Madrid, aporta una muestra espacialmente representativa del ambiente sonoro general de Madrid, a partir de la cual se pretende realizar una descripción y caracterización acústica de la ciudad por medio del empleo de las tecnologías de la información geográfica y de la estadística descriptiva univariada, tomando como variable sustantiva el nivel sonoro registrado, desde la cual se harán inferencias para el conjunto acústico total urbano y extraer conclusiones fundadas.

## **5.2. OBJETIVOS**

En línea con las indicaciones de la *Ley del Ruido* y las iniciativas del Ayuntamiento de Madrid, centradas sobre todo en la obtención de datos primarios sobre el ruido urbano y su análisis preliminar ajustado al esquema normativo, esta propuesta trata de aportar un avance, analizando el patrón espacio-temporal conformado por determinados parámetros acústicos o indicadores, correspondientes a la realidad del ruido ambiental exterior en la ciudad de Madrid (nivel sonoro y su distribución espacial, cambios temporales, etc.), en definitiva, profundizar en su caracterización sonora. El estudio, pues, se ciñe al ruido exterior, no al generado en interiores de las edificaciones e infraestructuras (viviendas, puestos de trabajo, comercios, industrias, etc.). Las metas generales y particulares consideradas pueden enunciarse como sigue:

### **5.2.1. Objetivos generales**

- Este estudio se encamina a realizar una contribución efectiva, basada en los planos acústicos de la capital, para avanzar hacia una metodología que permita primero establecer los caracteres sonoros que definen el medio urbano, e identificar y evaluar

después de forma más exacta el impacto e incidencia potencial que tiene el ruido ambiental sobre la población y el medio ambiente urbano del municipio de Madrid.

- El objetivo más general, situado en un plano de fondo a lo largo de toda la investigación, es el de generar conocimiento utilizable para aportar beneficios a la sociedad, reflejados en la mejora de la calidad de vida, como premisa fundamental, en virtud de la demanda social que motiva la realización de esta investigación, por la importancia del ruido como agente contaminante urbano.
- Se pretende dotar a la investigación de un carácter eminentemente aplicado, ahondando en el análisis geográfico-ambiental del territorio, sus procesos y conflictos potenciales, así como en sus necesidades de planificación, sin ceñirse a aspectos puramente descriptivos. Para ello, en la fase de análisis se prevé el uso de diferentes técnicas, como los sistemas de información geográfica (SIG), la cartografía digital, la estadística, etc.
- El ámbito de estudio considerado se centra en la ciudad de Madrid que, por su tamaño y rasgos, ofrece un espacio contrastado y relevante.
- Realizar una serie de representaciones gráficas a modo de planos, diagramas, gráficos, tablas, etc., que ayuden a visualizar la información analizada y los resultados obtenidos.
- Llevar a cabo un análisis estadístico a partir de los datos oficiales de niveles sonoros del Ayuntamiento de Madrid, detallado por distritos, para caracterizar el ambiente acústico general y de cada uno de ellos, con fines comparativos. A tal fin, se procederá a seleccionar los estadísticos más apropiados.

### **5.2.2. Objetivos específicos**

Se plantea aquí la ejecución de una serie de trabajos de integración de datos y tratamientos analíticos, a partir de los que obtener conclusiones y poder establecer propuestas de actuación. En particular, la investigación contempla alcanzar la siguiente batería de objetivos concretos, empíricos y metodológicos, a dilucidar en el ámbito concreto de la ciudad de Madrid:

- Integrar los datos procedentes del Plano Acústico de Madrid en un SIG compatible, resolviendo los eventuales problemas de la fuente original.
- Ensayar la idoneidad de los distritos urbanos como unidad espacial de análisis a efectos comparativos, si bien se contempla adoptar en análisis concretos unidades más detalladas (e. g. secciones censales).

- Análisis de zonas según los atributos de su ambiente sonoro y la variación temporal del ruido.
- Estudiar de modo comparativo las diferencias más significativas entre los indicadores de ruido ( $L_{Aeq}$ ) para los periodos temporales considerados (24 horas, diurno y nocturno), y realizar algún estudio de caso detallado en alguna zona concreta de Madrid que presente especial interés.
- Analizar el cumplimiento de los valores límite establecidos por la normativa aplicable, para los diferentes periodos temporales considerados.
- Valorar la adecuación del entorno acústico de algunos equipamientos y dotaciones urbanas de Madrid, a las funciones que en ellos se realizan, determinando las zonas y situaciones que requieren de intervención correctora.
- Valorar críticamente el Plano Acústico de Madrid, como fuente de información.
- Poner las bases para un manejo más eficiente y un análisis más fecundo del Plano Acústico de Madrid.

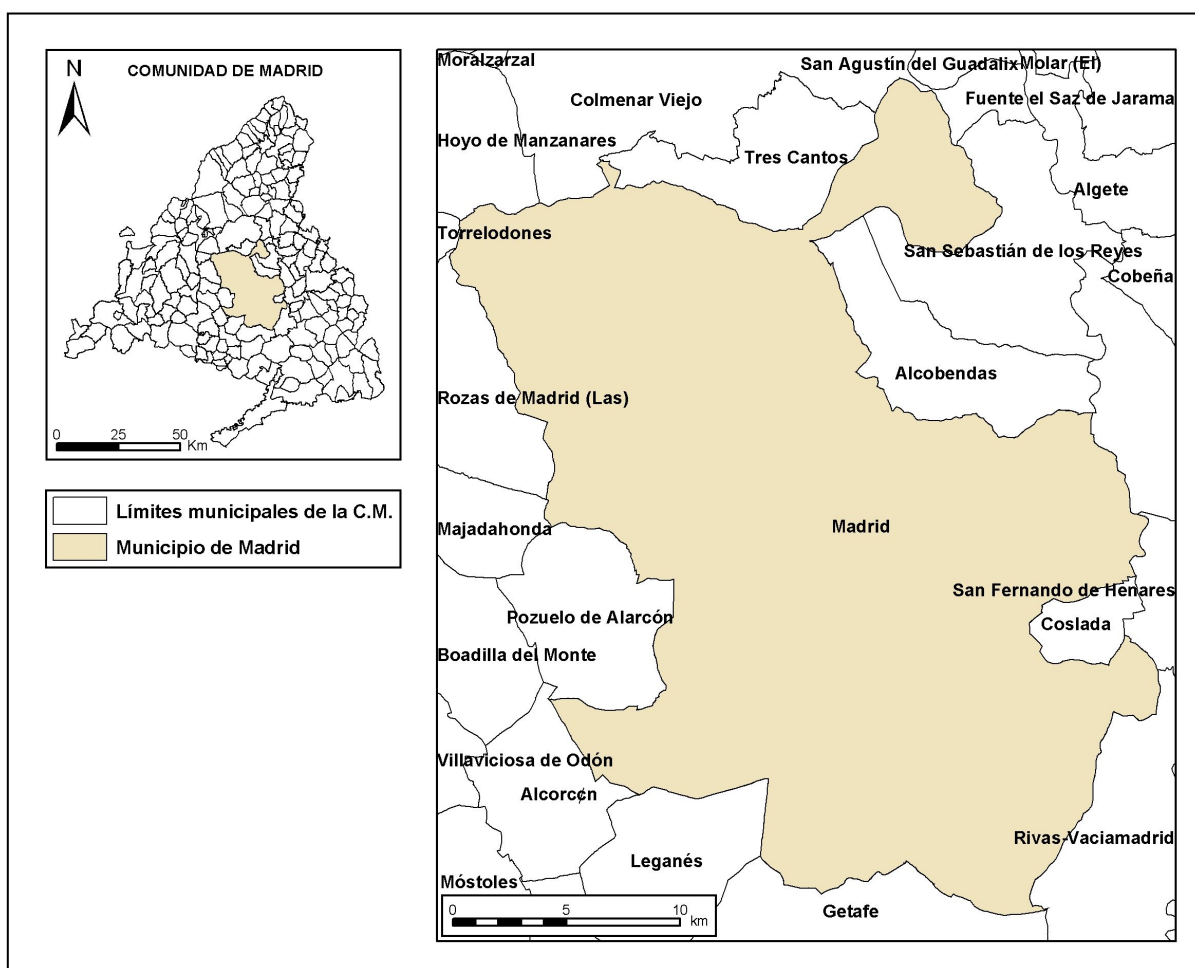


## **6. DATOS Y MÉTODOS**

## 6.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio considerada abarca el término municipal de Madrid, prestando especial atención a la zona urbanizada del mismo. Se localiza en la zona central del país, y a su vez en el centro del territorio de la Comunidad de Madrid (*vid.* figura 6.1.), a una altitud media de 600-700 m sobre el nivel del mar y con una climatología de tipo mediterráneo continental, e influida por las condiciones urbanas. De todos los municipios madrileños, corresponde con diferencia al de mayor tamaño, con una superficie aproximada de 60.709 ha (607 km<sup>2</sup>) (Ayto. de Madrid, 2002 a). Representa el 7,6 % de la superficie de la región y el 0,1 % del territorio español. Su forma es irregular y el trazado de sus límites está ajustado, en ocasiones, a los cursos fluviales de la región (río Jarama, por el este) o es el resultado de diferentes procesos de absorción de los municipios colindantes.

Figura 6.1. El municipio de Madrid y su localización dentro de la Comunidad de Madrid.



*Fuente: elaboración propia a partir de cartografía digital del IECM.*

Como se ha mencionado anteriormente, una de las prioridades de este estudio es la de emplear los distritos de Madrid como unidades espaciales principales para el análisis. El municipio se divide administrativamente en 21 distritos (*vid.* figura 6.2.) de diferente morfología y características socioeconómicas y demográficas. Los centrales (Centro, Arganzuela, Retiro, Salamanca, Chamartín, Tetuán y Chamberí) conforman la denominada “almendra central” de Madrid, por la forma ovalada que presenta su conjunto. Ésta es, aproximadamente, la zona de la ciudad comprendida en el interior del círculo que describe la carretera orbital M-30 (hoy vía urbana, tras quedar absorbida en el seno de la ciudad a lo largo del proceso de crecimiento urbano). Los distritos periféricos son los que presentan una mayor superficie y un menor índice de urbanización, destacando Fuencarral-El Pardo (40,1 % del total del territorio municipal, al acoger en su interior al Monte de El Pardo), Villa de Vallecas, Moncloa-Aravaca, Barajas o Vicálvaro, entre otros (Ayto. de Madrid, 2003 a). Los 21 distritos integrantes del municipio de Madrid se dividen a su vez en 128 barrios. La red viaria principal que conecta con el resto de España se distribuye radialmente en torno a la capital.

Figura 6.2. Distritos y barrios del municipio de Madrid.



Fuente: elaboración propia a partir de cartografía digital del IECM.

El ámbito de estudio presenta un nivel de detalle de escala local, en el que las áreas urbanizadas del municipio son las que cobran más interés, por una parte debido a que en ellas es donde los niveles de ruido ambiental van a producir una mayor afección sobre la población y, por otra, porque son las que, en su mayoría, cubre el Plano Acústico de Madrid, elemento clave en este estudio.

El conjunto de la Comunidad de Madrid se caracteriza por poseer una clara predominancia del sector servicios, del cual el municipio de Madrid, capital autonómica, es su máximo exponente. Pero el hecho de que Madrid sea además la capital del Estado supone de un modo determinante la atracción de un enorme volumen de actividad económica, financiera y de servicios ya no sólo de la región, sino especialmente de todo el territorio nacional. Madrid, como centro administrativo, acoge a gran cantidad del funcionariado, así como contiene buena parte de la dirección económico-empresarial del país, de manera que todos los grandes bancos y entidades empresariales tienen sedes en la capital. Aunque existen otras ciudades del territorio nacional también con un gran volumen de actividad económica, en Madrid se da una especial concentración.

Se trata de una ciudad cuyo tejido industrial, escaso en comparación con otras grandes urbes, se localiza en zonas periféricas. El sector agrario se ha visto drásticamente disminuido a lo largo de las últimas décadas por el avance de la urbanización, no sólo en el municipio de Madrid, sino también en el conjunto de la Comunidad Autónoma, convirtiéndose en una de las de menor población activa agraria del país.

El gran desarrollo del sector servicios caracteriza la actividad económica del municipio, con el consiguiente volumen de población empleada o asociada al mismo de una u otra manera. Es decir, el municipio de Madrid no sólo ha sido captador de actividad, sino de población, y el planeamiento urbanístico es necesariamente una de las prioridades de acción del Ayuntamiento, en un municipio que en 2002<sup>21</sup> alcanzaba una cifra de población que ya superaba los 3 millones de habitantes<sup>22</sup> (INE, 2005), lo que representaba, a esa fecha, el 54,6 % de la población de la región y el 7,2 % de la del conjunto de España, concentrados en su mayoría en la ciudad. Se trata de la capital y ciudad más poblada de España, que a su vez está rodeada de una serie de núcleos suburbanos con poblaciones que oscilan entre los 70.000 y 150.000 habitantes (en conjunto, en un círculo de 30 km de radio se presenta una aglomeración urbana cercana a los 4 millones de personas). Espacialmente, el área urbanizada del municipio se ha ido ampliando sobre todo por la periferia, pese a la intensa desconcentración demográfica que beneficia a los municipios de la corona metropolitana.

---

<sup>21</sup> Se alude al año 2002 dado que a esa fecha corresponden los datos de niveles sonoros con los que el Ayuntamiento de Madrid realizó el Plano Acústico de 2002, los cuales constituyen una de las fuentes de información fundamentales en este estudio.

<sup>22</sup> 3.043.535 hab., según el Padrón Municipal de Habitantes de Madrid, a fecha de 1 de enero de 2002.



Por distritos, los más poblados son Latina, Puente de Vallecas y Ciudad Lineal, con más de 200.000 hab., y los menos Barajas, Vicálvaro y Villa de Vallecas (*vid.* tabla 6.1.). La densidad media es de unos 52 habitantes/hectárea, muy superior a la de la región y la del total nacional. Los distritos más densamente poblados son Centro y Tetuán, y los menos Fuencarral-El Pardo y Barajas. Hay 1,1 mujeres por cada hombre y, en cuanto a la distribución de la población por grupos de edad, la mayor población infantil se encuentra en el distrito de Vicálvaro y la menor en el de Centro, mientras que el mayor porcentaje de población mayor de 85 años está en Chamberí y el menor en Vicálvaro. La población de Madrid está asimismo más envejecida (menor peso relativo de los grupos infantil y juvenil) que la del resto de la región y de España (Ayto. de Madrid, 2002 a).

Tabla 6.1. Superficie y población de los distritos de Madrid, 2002.

Distritos	Superficie (ha)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Habitantes 2002
01. Centro	523,73	5,24	139.431
02. Arganzuela	655,21	6,55	137.022
03. Retiro	537,83	5,38	124.888
04. Salamanca	540,93	5,41	147.350
05. Chamartín	919,57	9,20	139.987
06. Tetuán	537,31	5,37	144.700
07. Chamberí	469,22	4,69	148.570
08. Fuencarral-El Pardo	24.345,20	243,45	207.748
09. Moncloa-Aravaca	4.492,75	44,93	112.278
10. Latina	2.542,97	25,43	255.545
11. Carabanchel	1.409,30	14,09	226.138
12. Usera	770,28	7,70	121.130
13. Puente de Vallecas	1.489,14	14,89	232.520
14. Moratalaz	634,42	6,34	107.405
15. Ciudad Lineal	1.136,36	11,36	227.799
16. Hortaleza	2.800,60	28,01	148.035
17. Villaverde	2.028,65	20,29	130.417
18. Villa de Vallecas	5.155,92	51,56	62.978
19. Vicálvaro	3.271,50	32,72	54.477
20. San Blas	2.181,21	21,81	137.445
21. Barajas	4.266,59	42,67	37.672
<b>TOTAL MADRID</b>	<b>60.708,68</b>	<b>607,09</b>	<b>3.043.535</b>

*Fuente: elaboración propia a partir de datos del Padrón Municipal de Habitantes a fecha 1 de enero de 2002 (Dirección General de Estadística, Concejalía de Gobierno de Hacienda y Administración Pública del Ayto. de Madrid).*

Es de destacar que la citada capacidad de atracción de la capital ha experimentado variaciones a lo largo del tiempo, que determinan el perfil demográfico observable en nuestros días. Desde mediados del siglo XX, con el declive de la actividad agraria, un gran volumen de población de ámbito rural nacional se trasladó a Madrid en busca de nuevas oportunidades laborales, siendo precursores de un “boom” en el sector de la construcción, en muchas ocasiones carente de una planificación adecuada.

La recesión económica de los últimos años del siglo XX frenó en parte estas migraciones interiores, que fueron dando paso a un destacado aumento de la inmigración procedente del exterior, motivada por la situación económica internacional del momento. Así, poblaciones procedentes de Ecuador, Colombia, Marruecos, Perú, Rumanía y Rep. Dominicana, fundamentalmente, adquirieron un peso cada vez más importante en el conjunto de la población madrileña (especialmente en los distritos de Centro, Tetuán, Carabanchel, Arganzuela, y Usera), representando el 10,5 % de la población total<sup>23</sup>, y frenando el descenso continuado que ésta había venido experimentando en los últimos tiempos. Más recientemente y, con la crisis económica iniciada en 2008, ha descendido el volumen de entrada de inmigrantes, e incluso se ha revertido en los últimos años ante el aumento del desempleo.

En definitiva, el proceso histórico de urbanización acaecido en la ciudad de Madrid ha perfilado las características socioeconómicas y demográficas, así como el desarrollo urbano, que hoy se pueden encontrar y que van a condicionar en parte los resultados de esta investigación, en la medida en que el Plano Acústico de Madrid cubre ciertas zonas urbanas: calles, plazas, parques, edificaciones, instalaciones y equipamientos, carreteras, etc., es decir, en definitiva entornos urbanos determinados, porciones del territorio en las que las personas desarrollan su vida laboral y ociosa, cuya calidad de vida es uno de los motivos más importantes que justifican la realización de investigaciones en la línea seguida en este trabajo.

Figura 6.3. Vista de una calle céntrica de la ciudad de Madrid.



*Fuente: Martínez Suárez, 2004.*

---

<sup>23</sup> Población extranjera a 1 de julio de 2002, según la Dirección General de Estadística del Ayto. de Madrid.

## **6.2. LOS PLANOS ACÚSTICOS Y MAPAS DE RUIDO**

El Plano Acústico de Madrid constituye una fuente de datos primordial para la realización de esta investigación. Siendo conscientes de la valiosa y práctica información acústica recogida en él, necesaria para llevar a cabo este estudio desde una fase muy inicial, se procedió a realizar la petición formal del mismo a la *Unidad de Control Acústico* del Ayuntamiento de Madrid. Su importancia motiva que a continuación se dediquen unos necesarios apartados explicativos sobre su conceptualización, razón de ser y características.

### **6.2.1. Definiciones y marco conceptual**

Hasta este punto se ha mencionado en numerosas ocasiones el término “plano acústico” o “mapa de ruido”, y no resulta difícil de imaginar a priori lo que significa. Sin embargo y, como pieza clave en esta investigación, resulta importante definirlo con exactitud. Parece razonable comenzar por decir que de lo que se está hablando es de un tipo concreto de planos o mapas pero, ¿qué son éstos?

Los planos y mapas son representaciones gráficas simplificadas de una realidad pasada o existente en la actualidad, o de una proyección futura (en el caso de que se trate de un pronóstico), con una inevitable connotación geográfica, en cuanto a que muestran hechos geográficos con una plasmación o vinculación espacial. Ello no quiere decir que se empleen exclusivamente en el ámbito de las disciplinas geográficas, sino que son utilizados en multitud de campos muy diversos. Es importante aclarar que *planos* y *mapas* no son lo mismo. Según el Diccionario de la Lengua Española (RAE, s. f.), un mapa es una “*representación geográfica de la Tierra o parte de ella en una superficie plana*” o “*representación geográfica de una parte de la superficie terrestre, en la que se da información relativa a una ciencia determinada (mapa lingüístico, topográfico, demográfico)*”, y un plano es una “*representación esquemática, en dos dimensiones y a determinada escala, de un terreno, una población, una máquina, una construcción, etc.*”.

La convención más aceptada establece que la diferencia entre ambos es relativa a la escala de representación, de modo que los mapas suelen presentar escalas más pequeñas, del orden de 1:25.000 o menores (1:50.000, 1:100.000, 1:200.000, etc.), es decir, poco detalle, mientras que las escalas de los planos son mayores (desde 1:25.000 hasta 1:10.000, 1:5.000 y superiores), representando mucho detalle de la información en ellos contenida.

Por otra parte, la segunda palabra que compone el término, léase “acústico”, “sonoro”, “de ruido”, etc., indica claramente a qué se refiere el plano o mapa. Sin embargo, cabría hacer un comentario, en virtud de lo comentado en el marco conceptual del capítulo 2. Según el Diccionario de la Lengua Española (RAE, s. f.), “sonoro” hace referencia a la existencia de sonido, y “acústico” a lo relativo a la acústica, como parte de la física que trata de la producción, control, transmisión, recepción y audición de los sonidos. Es decir, ambos

términos se refieren a la existencia de sonido en el ambiente. Sin embargo, la palabra “ruido” se vio que implicaba ciertas connotaciones negativas de molestia, por ejemplo debido a unos niveles sonoros demasiado elevados, en cuanto a su repetición, etc. Por tanto, si la representación gráfica muestra o introduce alguna evaluación o valoración de los niveles sonoros, parece adecuado emplear el término “de ruido”, mientras que si su función es la de simplemente caracterizar el ambiente indicando sus niveles sonoros, parece más acertado emplear el término de “acústico”, como mayoritariamente se va a considerar a lo largo de este trabajo.

A la vista de lo comentado hasta este momento, un plano acústico, mapa de ruido, etc., podría definirse de manera sencilla como una representación gráfica de la realidad sonora de un espacio determinado, del ambiente acústico asociado a un lugar concreto. Debe existir un referente espacial cuyo ambiente sonoro se desea caracterizar. Y para ello se utiliza algún indicador del ruido ambiental, descriptor o índice (*vid.* apartado 2.1.2.), generalmente el nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A ( $L_{Aeq}$ ) correspondiente a un determinado periodo de medición (las 24 horas, el diurno, el nocturno, etc.), y expresado en decibelios ponderados A (dBA).

El término empleado casi unánimemente por la normativa existente sobre gestión del ruido ambiental es el de “mapa de ruido” que, en concordancia con lo anteriormente expuesto, debería implicar una cobertura espacial mayor a la de un plano y un menor nivel de detalle que éste último. Hay que añadir que el empleo mayoritario y tradicional de esta herramienta se ha aplicado a zonas urbanas, en las que el detalle resulta importante, de manera que para éstas parece más adecuado atribuir la denominación de “plano acústico o de ruido”, mientras que para estudios realizados en otros ámbitos en los que se requiera un menor grado de detalle (e. g. estudios de impacto ambiental de determinadas infraestructuras y equipamientos, en espacios naturales protegidos, comarcas y regiones, etc.) parecería más apropiado emplear el término de “mapa acústico o de ruido”.

Un ejemplo al respecto es el *Estudio de los niveles sonoros ambientales en el distrito Centro de Madrid, 1999, Tomo I, Memoria General* (Ayto. de Madrid, 1999). En su apartado 3.5 *Representación gráfica de los resultados por barrios*, se dice: “Una vez valorados los resultados, se ha procedido a representarlos sobre un plano de la zona, tratando de dar, mediante distintos colores, una imagen de la situación de las calles que componen el barrio”. Se trata de un estudio de detalle en el que se asume que el tipo de representación gráfica más adecuada es el plano.

Hay que añadir que, en el caso de Madrid, el Ayuntamiento decidió la denominación de “Plano Acústico de Madrid”<sup>24</sup>, aunque parece ser que a nivel interno también se le llama

---

<sup>24</sup> Denominación adoptada en este trabajo al hacer referencia al mismo, como documento y fuente de información oficial (por ello, nótese que las siglas iniciales se escriben en mayúscula).

“Mapa Acústico”, casi indistintamente.

En cualquier caso, la normativa aporta numerosas definiciones de este tipo de fuentes bajo una perspectiva jurídica, que pueden completar o matizar lo anteriormente propuesto. De entre ellas se han seleccionado las siguientes:

«Mapa de ruido» (según la *Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*): “Presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indicará el rebasamiento de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica”.

«Mapa estratégico de ruido» (según la Directiva anteriormente citada): “Un mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona”.

«Mapa de ruido» (según la *Ley 37/2003, del Ruido*): “La cartografía sonora prevista en la ley se completa con los denominados mapas de ruido. Los mapas de ruido son un elemento previsto por la Directiva sobre Ruido Ambiental y encaminado a disponer de información uniforme sobre los niveles de contaminación acústica en los distintos puntos del territorio, aplicando criterios homogéneos de medición que permitan hacer comparables entre sí las magnitudes de ruido verificadas en cada lugar”.

«Mapa de ruido» (según el *Decreto 78/1999, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid*): “Representación gráfica de los niveles significativos de ruido existentes en un determinado territorio, obtenidos mediante medición en un conjunto de puntos representativos, a lo largo de diferentes períodos, y su posterior integración e interpretación”.

Nótese la mayoritaria alusión al *ruido*, frente al concepto más amplio de *sonido*, denotando el origen de la normativa como reacción frente al aspecto negativo asociado al mismo. La finalidad “represora” o controladora de la contaminación prevalece frente a la visión más positiva del sonido en su más amplia dimensión, obviando así la faceta de calidad que también el sonido puede aportar al entorno.

La precisión de la información sonora contenida en el plano o mapa tiene relación con lo comentado en el apartado 2.1.4.2.1. El número y distribución espacial de los puntos de medida (lógica del muestreo), o el tamaño de los cuadrados en su caso, van a ser parámetros importantes. Por otra parte, en relación con los parámetros de valoración y, a la vista de la disponibilidad de instrumentación, número de puntos a medir y plazo de ejecución de la campaña de medición, se debe tomar la decisión del tiempo de permanencia de cada

unidad móvil en cada punto de medición, con el fin de poder determinar de la manera más precisa posible el nivel sonoro representativo.

Es de gran importancia señalar que la realización de los planos y mapas acústicos no debe quedarse como una mera representación gráfica de los niveles sonoros (lo cual ya por sí mismo es un logro), sino que su verdadera importancia radica en las posibilidades que ofrecen como herramientas de cara al diagnóstico, planificación y gestión del ruido ambiental, y a la toma de decisiones por parte de los organismos competentes en materia de sanidad, protección del ambiente urbano y desarrollo urbanístico. En el art. 15 de la *Ley 37/2003, del Ruido*, se dice que los objetivos de los mapas serán permitir la evaluación global de la exposición a la contaminación acústica de una determinada zona, permitir la realización de predicciones globales para dicha zona, y posibilitar la adopción de planes de acción en materia de contaminación acústica y, en general, de las medidas correctoras adecuadas.

### **6.2.2. Justificación normativa**

La elaboración de mapas de ruido se ha convertido en uno de los puntos más importantes incluidos y considerados por cualquier normativa reciente relativa a la protección frente al ruido, puesto que, una vez que las distintas administraciones elaboren y aprueben sus mapas de ruido, sobre la base de sus resultados se elaborarán los correspondientes planes zonales específicos y los planes de acción necesarios (Sanz Sa, 2007), que irán dirigidos a solucionar en el territorio afectado las cuestiones relativas al ruido.

#### **6.2.2.1. A nivel internacional**

En el plano internacional hay que destacar la ***Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental***<sup>25</sup>, que establece una serie de criterios relativos a la cartografía del ruido con la finalidad de armonizarlos entre los diferentes Estados miembros de la Unión Europea. Indica que debe realizarse un cartografiado estratégico de ruido en determinadas zonas de interés, de manera que puedan recogerse en él los datos necesarios para ofrecer una representación de los niveles de ruido percibidos dentro de dicha zona.

Concretamente, en su art. 1 se citan varias medidas para cumplir los objetivos de la Directiva: “a) *la determinación de la exposición al ruido ambiental, mediante*

---

<sup>25</sup> Modificada por la Directiva (UE) 2015/996 de la Comisión, de 19 de mayo de 2015, por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido.

*la elaboración de mapas de ruidos según métodos de evaluación comunes a los Estados miembros; b) poner a disposición de la población la información sobre el ruido ambiental y sus efectos; c) la adopción de planes de acción por los Estados miembros, tomando como base los resultados de los mapas de ruidos, con vistas a prevenir y reducir el ruido ambiental siempre que sea necesario y, en particular, cuando los niveles de exposición puedan tener efectos nocivos en la salud humana, y a mantener la calidad del entorno acústico cuando ésta sea satisfactoria”.*

En el art. 4 dice que “los Estados miembros designarán las autoridades y entidades competentes, en los niveles adecuados, responsables de a) la elaboración y, en su caso, aprobación de los mapas de ruido y planes de acción para aglomeraciones urbanas, grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos; b) la recopilación de los mapas de ruido y planes de acción”.

El Anexo IV de la Directiva establece los requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido. Dado su interés, se ha incluido en esta memoria como Anexo 1, para su consulta.

Finalmente, el art. 9.1 dice que “Los Estados miembros velarán por que los mapas estratégicos de ruido que hayan realizado, y en su caso aprobado, y los planes de acción que hayan elaborado se pongan a disposición y se divulguen entre la población...”.

Por otro lado, el **Estándar Internacional ISO 1996, Acústica - Descripción y medida del ruido ambiental** indica en su Parte 2 sobre *Adquisición de datos pertenecientes a los usos del suelo*, que para mostrar los resultados de las medidas del ruido ambiental existente y de los cálculos de ruido para actividades proyectadas, se estima que podría ser útil una presentación en términos de zonas de ruido, acotadas por un límite superior e inferior, expresados en dBA, y se recomienda que éstos sean múltiplos de 5 dBA. Si las diferentes zonas son identificadas en un mapa del área bajo consideración, éstas se representarán con una escala de colores. Los detalles y escala del mapa dependen del tamaño, estructura y uso del área considerada, el objetivo y el procedimiento del planteamiento.

Según este estándar internacional, el mapa de ruido será establecido en un mapa oficial a una escala dada, mostrando detalles relevantes de edificios, instalaciones de tráfico, áreas industriales, áreas agrícolas, vegetación y curvas de nivel con la altura sobre el nivel del mar. La cartografía será desarrollada representando las áreas de las zonas de ruido iguales, o dibujando sus contornos. El mapa debería mostrar las localizaciones donde los datos fueron medidos (“O”) o calculados (“X”).

#### 6.2.2.2. A nivel estatal

En España, la norma de rango superior que contempla la elaboración de los mapas de ruido es la **Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido**, ley estatal básica surgida como transposición a nuestro ordenamiento jurídico de la anteriormente comentada *Directiva 2002/49/CE*. La razón de ser de los mapas de ruido queda justificada en el Capítulo I, art. 5, en donde se hace expresa la obligación de las Administraciones Públicas competentes de informar al público sobre la contaminación acústica y, en particular, sobre los mapas de ruido y los planes de acción en materia de contaminación acústica, en virtud de lo dispuesto en la *Directiva 90/313/CEE del Consejo, de 7 de junio de 1990, sobre libertad de acceso a la información en materia de medio ambiente*<sup>26</sup>, transpuesta en la *Ley 38/1995, de 12 de diciembre, sobre el derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente*.<sup>27</sup> De acuerdo con ellas, el objetivo perseguido es la concienciación de los ciudadanos ante la contaminación ambiental, difícil de conseguir sin un eficaz sistema de información que permita acceder a los datos y referencias que obran en poder de las administraciones.

La *Ley del Ruido* (art. 4) atribuye a las Comunidades Autónomas las competencias de elaboración, aprobación y revisión de los mapas de ruido, así como la correspondiente información al público. En su defecto, la competencia corresponderá a la Comunidad Autónoma si el ámbito territorial del mapa de ruido excede de un término municipal, y al ayuntamiento correspondiente en caso contrario.

El posterior **Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas**, viene a cubrir la necesidad de desarrollo reconocida por la propia Ley en cuestiones de relevancia como las relativas a los tipos de mapas, su contenido mínimo, formato, etc. (art. 15.3). Así, en sus arts. 32 y 33 sobre evaluación de la contaminación acústica, establece los dos tipos de mapas siguientes:

- Mapas estratégicos de ruido, que se elaborarán y aprobarán por las administraciones competentes para cada uno de los grandes ejes viarios, de los grandes ejes ferroviarios, de los grandes aeropuertos y de las aglomeraciones con poblaciones de más de 100.000 habitantes.

---

<sup>26</sup> Dicha *Directiva 90/313/CEE* fue posteriormente derogada por la *Directiva 2003/4/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2003, relativa al acceso del público a la información medioambiental*.

<sup>27</sup> Dicha *Ley 38/1995* fue posteriormente derogada por la *Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente*.



- Mapas de ruido no estratégicos, que se elaborarán por las administraciones competentes, al menos, para las áreas acústicas en las que se compruebe el incumplimiento de los objetivos de calidad acústica.

Es importante decir que los planos acústicos, junto con la delimitación de áreas acústicas, son dos instrumentos clave en la gestión municipal del problema del ruido, (vid. capítulo 4.), en tanto que el plano permite conocer los niveles reales sonoros existentes en la ciudad, y éstos pueden ser comparados respecto de los objetivos de calidad acústica en cada zona (áreas acústicas), es decir, se pueden identificar las zonas donde se produce un rebasamiento de los niveles permitidos y evaluar el grado de superación. A partir de ahí, es posible diseñar, planificar y desarrollar las futuras medidas y acciones necesarias para mejorar el estado de la contaminación acústica (Ayto. de Madrid, 2011 b), a través de planes de acción.

#### 6.2.2.3. A nivel autonómico

Existen varias normas de diferentes regiones españolas en las que se contempla la realización y uso de planos y mapas de ruido. En la Comunidad de Madrid, el ***Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid***<sup>28</sup>, hace referencia expresa al Mapa de Ruido de la Comunidad de Madrid elaborado en 1997, y establece la realización de mapas de ruido como línea de actuación a poner en práctica en un plan de actuaciones en materia de ruido, por parte de la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional (art. 6.1.d). En el art. 19 sobre el *Contenido de los estudios de impacto ambiental en lo referente a ruido* dice “*Para las actividades catalogadas sometidas a Evaluación de Impacto Ambiental, se analizarán en detalle en los correspondientes estudios de impacto ambiental los siguientes aspectos: a. Nivel de ruido en el estado preoperacional, mediante la elaboración de mapas de los niveles acústicos en el ambiente exterior durante los períodos diurno y nocturno. b. Nivel de ruido en el estado postoperacional, mediante la elaboración de mapas de los niveles acústicos al ambiente exterior durante los períodos diurno y nocturno...*”.

Por último, el art. 24.4 sobre *Planificación urbanística* afirma: “*Las figuras de planeamiento urbanístico general incorporarán en sus determinaciones, al menos, los*

---

<sup>28</sup> Pese a su derogación en 2012 por el *Decreto 55/2012*, se cita por mantenerse vigente cuando fue publicado el Plano Acústico de Madrid de 2002, el cual constituye la fuente de información principal utilizada en la realización de esta investigación.

siguientes aspectos: a. Planos que reflejen con suficiente detalle los niveles de ruido en ambiente exterior, tanto en la situación actual como en la previsible una vez acometida la urbanización. [...]”.

\* \* \*

Por lo que respecta al **nivel legislativo local**, en los apartados siguientes se presenta y explica el Plano Acústico del Ayuntamiento de Madrid, considerando su justificación normativa concreta.

### **6.2.3. El Plano Acústico del Ayuntamiento de Madrid de 2002**

El II Plano Acústico de Madrid nace administrativamente en la Rama de Medio Ambiente, Salud y Consumo, Área de Medio Ambiente, Dirección de Servicios de Gestión de Residuos y Calidad Ambiental, Unidad de Control Acústico<sup>29 30</sup>, y surgió en el marco del 1.º Plan Estratégico para la Reducción de la Contaminación Acústica (PERCA). Su realización se encargó al Instituto de Acústica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), comenzando a realizarse en 1999 y concluyéndose en 2002.

#### **6.2.3.1. Justificación normativa**

La consecución del Plano Acústico de Madrid en el año 2002 supuso un importante logro de la Administración ambiental municipal, acorde con lo dispuesto en la coetánea ***Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental***. Significó además un adelanto respecto a la normativa estatal surgida como transposición de la citada Directiva, pues el Plano antecede a la publicación de la ***Ley 37/2003, del Ruido***.

Tras la transferencia de competencias especificada en la *Ley del Ruido*, el Plano Acústico queda justificado por la legislación autonómica, cuyas disposiciones contemplan su elaboración. Así, el ***Decreto 78/1999 por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid***, en su Título III (*Prevención de la contaminación acústica*), art. 28 (*Mapas de ruido*), dice: “A fin de conocer la situación acústica del territorio de la Comunidad de Madrid y poder actuar consecuentemente, la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional, en colaboración con los Ayuntamientos, establecerá un programa de medición periódica de los niveles de ruido en el ambiente exterior en los municipios previsiblemente más afectados por la

---

<sup>29</sup> Esta jerarquía corresponde a la estructura de unidades administrativas vigente en aquel momento.

<sup>30</sup> Dentro de la *Dirección de Servicios de Gestión de Residuos y Calidad Ambiental* existían varios Departamentos, dentro de cada Departamento existían Secciones, y dentro ellas había Divisiones. Sin embargo, la *Unidad de Control Acústico* dependía directamente de la Dirección, no de ninguno de sus Departamentos.

*contaminación acústica. Los resultados de tales mediciones se presentarán en forma de mapas de ruido". También, en su art. 6 sobre Planes de actuación enuncia que "La Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional establecerá un plan de actuaciones en materia de ruido y vibraciones. Dicho plan concretará las líneas de actuación a poner en práctica y que harán referencia a, entre otros, los siguientes aspectos: [...] c. Información y concienciación del público. d. Elaboración de mapas de ruido. [...]"*

Por otra parte, la Ordenanza Municipal de Protección de la Atmósfera contra la Contaminación por Formas de Energía del Ayuntamiento de Madrid, de 2004, en su art. 12.2 dice que "los mapas acústicos que el Ayuntamiento deba realizar, se ajustarán a los requisitos que en la normativa aplicable se establezcan", y en su art. 12.3 "El Ayuntamiento, a través de los medios de que disponga en cada momento, deberá realizar una actualización de los mapas acústicos y de las condiciones acústicas ambientales en las distintas áreas de actuación acústica, al menos cada 3 años. A través de dicha actualización, se determinarán las posibles modificaciones de las Zonas de Protección Acústica Especial".

#### 6.2.3.2. Antecedentes

En 1986 se concluyó el 1.<sup>er</sup> Plano Acústico de la ciudad de Madrid teniendo como objetivo, por una parte, conocer la realidad acústica de la ciudad y, por otra, poseer una referencia fidedigna para comprobar su evolución en el tiempo. Éste se llevó a cabo según las siguientes especificaciones:

- El área que fue estudiada quedó circunscrita al interior de la vía de circunvalación (hoy urbana) M-30.
- Los resultados estaban limitados al periodo temporal comprendido entre las 10 y las 17 h.
- Se consideraron como unidades de estudio cuadrados de 200 x 200 m para la selección de puntos de medida.
- Las medidas se realizaron en continuo de 5 minutos, con posterior asignación a un periodo de 1/2 hora.

Su periodo de ejecución duró 5 años y supuso un coste económico de 163.477 € (Ayto. de Madrid, 2002).

#### 6.2.3.3. Necesidad de un nuevo plano acústico en Madrid

En el mencionado *Plan Estratégico para la Reducción de la Contaminación Acústica de Madrid (PERCA)* se reconoce el valor del pionero Plano Acústico de Madrid de 1986, pero

la Administración municipal asumió las limitaciones del mismo, por lo que contempló la realización de un nuevo Plano Acústico, justificado por las siguientes necesidades:

- Conocer los datos de niveles sonoros ambientales existentes en cualquier punto de todo el término municipal de Madrid y no solo los correspondientes al interior de la M-30.
- Poder analizar la evolución de los niveles sonoros ambientales.
- Poseer datos actualizados que permitan ajustarse a la zonificación acústica (distintas Áreas de Sensibilidad Acústica) acorde con el *Plan General de Ordenación Urbana de Madrid de 1997* y exigida por el *Decreto 78/1999, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid*.
- Estar en disposición de cumplir la *Directiva Europea 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*, desde el mismo momento en que se aprobara (18 de julio de 2002), y mucho antes del plazo de cumplimiento establecido en la misma. Disponer de los datos de base para la puesta en marcha del *Sistema de Actualización Dinámica del Mapa Acústico de Madrid (SADMAM)*, proyecto innovador dentro de la vanguardia de la gestión acústica municipal mundial (Ayto. de Madrid, 2002), en el que las medidas son tomadas por unidades móviles instaladas en vehículos.

#### 6.2.3.4. Protocolo de realización del Plano Acústico de 2002 y principales diferencias de diseño respecto del de 1986

En virtud de las necesidades anteriormente expuestas, la realización del nuevo Plano Acústico de 2002 presenta las siguientes diferencias fundamentales respecto del de 1986:

- Está ampliado a la parte más significativa del término municipal de Madrid (aproximadamente la zona urbana).
- Los resultados corresponden a las 24 horas.
- La malla básica consta de cuadrados de 200 x 200 m, y existen subcuadrados de 100 x 100 m (para el distrito de Centro) y de 400 x 400 m (estas últimas fueron posteriormente reconvertidas a las básicas de 200 x 200 m).
- La medida fue en continuo de 24 horas en los puntos centrales de los cuadrados, y en continuo de 5 minutos en los puntos secundarios y posterior transformación en valores de 24 horas.
- El indicador de ruido que representa es el nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A ( $L_{Aeq}$ ) para el periodo de 24 horas, diurno y nocturno, expresado en decibelios A (dBA).

Su periodo de ejecución duró 2,5 años y supuso un coste económico de 601.012 € (Ayto. de Madrid, 2002).

#### 6.2.3.5. Características del Plano Acústico de Madrid de 2002

A continuación se describe y caracteriza, en lo relativo a los aspectos técnicos, cómo está diseñado el Plano Acústico de Madrid (Ayto. de Madrid, 1999 y 2002).

##### *6.2.3.5.1. Planteamiento y medición de datos sonoros*

Anteriormente se ha aludido a que las unidades de estudio del Plano Acústico son cuadrados de determinadas dimensiones. Ello se refiere a que, a la hora de plantear el muestreo espacial de recolección de datos en campo, para la selección de los puntos de medición se eligió el procedimiento de “cuadrícula recta” orientada al norte, es decir, sobre un plano de Madrid se colocó una malla ortogonal de dimensiones proporcionales al área total y a la exactitud requerida, lo suficientemente fina para el objeto del estudio, en la que las líneas verticales presentan dirección norte-sur.

La malla seleccionada está compuesta por 3.964 cuadrados regulares de 200 m de lado (cada cuadrado representa  $200 \times 200 \text{ m} = 40.000 \text{ m}^2 = 4 \text{ hectáreas}$ ), excepto en el distrito de Centro, sobre el que existen 433 cuadrados de 100 m de lado ( $100 \times 100 \text{ m} = 10.000 \text{ m}^2 = 1 \text{ ha}$ ), aportando un mayor detalle. El número total de cuadrados, por tanto, es de 4.397, y la superficie municipal total cubierta por el Plano es de  $162.890.000 \text{ m}^2$ , equivalente a 16.289 ha. El conjunto de cuadrados forman una malla o retícula, cuya construcción se realizó partiendo de la malla del distrito de Centro, previamente realizada. No fue diseñada con un criterio respecto a un punto concreto, sino que se ajustó de forma que el mayor número de puntos de medida se ubicara en el viario urbano (a ras de calle) y no sobre edificaciones. Se eliminaron aquéllos que, por estar enclavados en zonas sin actividad o restringidas, como por ejemplo el Palacio Real, Campo del Moro, interior del Cuartel del Conde Duque, etc., sus niveles sonoros no se pudieran considerar como representativos para el objeto del estudio.

Fijados con precisión los puntos más apropiados para la toma de datos se llevaron a cabo las mediciones, en el viario o en edificaciones (*vid.* figura 6.4.), previa solicitud de autorización para la instalación del instrumental a los propietarios de las viviendas seleccionadas. Durante este proceso, en algunos casos se modificaron ligeramente los puntos marcados sobre el Plano como consecuencia de la



Figura 6.4. Realización de mediciones sonoras desde una vivienda.

*Fuente: Ayto. de Madrid, 1999.*

imposibilidad de la instalación de la instrumentación por problemas de espacio o, en contadas ocasiones, por la negativa de los inquilinos a facilitar la operación.

#### 6.2.3.5.2. Aplicación que lo soporta

El Plano Acústico de Madrid fue encargado por el Ayuntamiento al Instituto de Acústica del CSIC, el cual decidió que su diseño digital se realizase en una aplicación informática específica adquirida para la ocasión, llamada VisualMap Pro, cuyo funcionamiento se estructura con arreglo a proyectos interconectados con bases de datos que contienen o almacenan toda la información. Dicha aplicación presenta salidas gráficas para la visualización, así como la posibilidad de realizar consultas temáticas.

#### 6.2.3.5.3. Estructura y contenidos

El Plano Acústico de Madrid es accesible mediante la aplicación VisualMap Pro y se encuentra organizado como dos proyectos, según se desee trabajar a nivel global o por distritos. Presenta dos tipos de elementos: los puntos de medida y los cuadrados de la malla. Ambos contienen la misma información, pero su finalidad es diferente: el objetivo de los cuadrados es el de colorear zonas del mapa con el croma correspondiente asociado al nivel sonoro existente, mientras que con los puntos se pretende mostrar la información sonora exacta, indicando si ha sido medida (representada por medio de un cuadrado negro) o calculada (cruz negra).

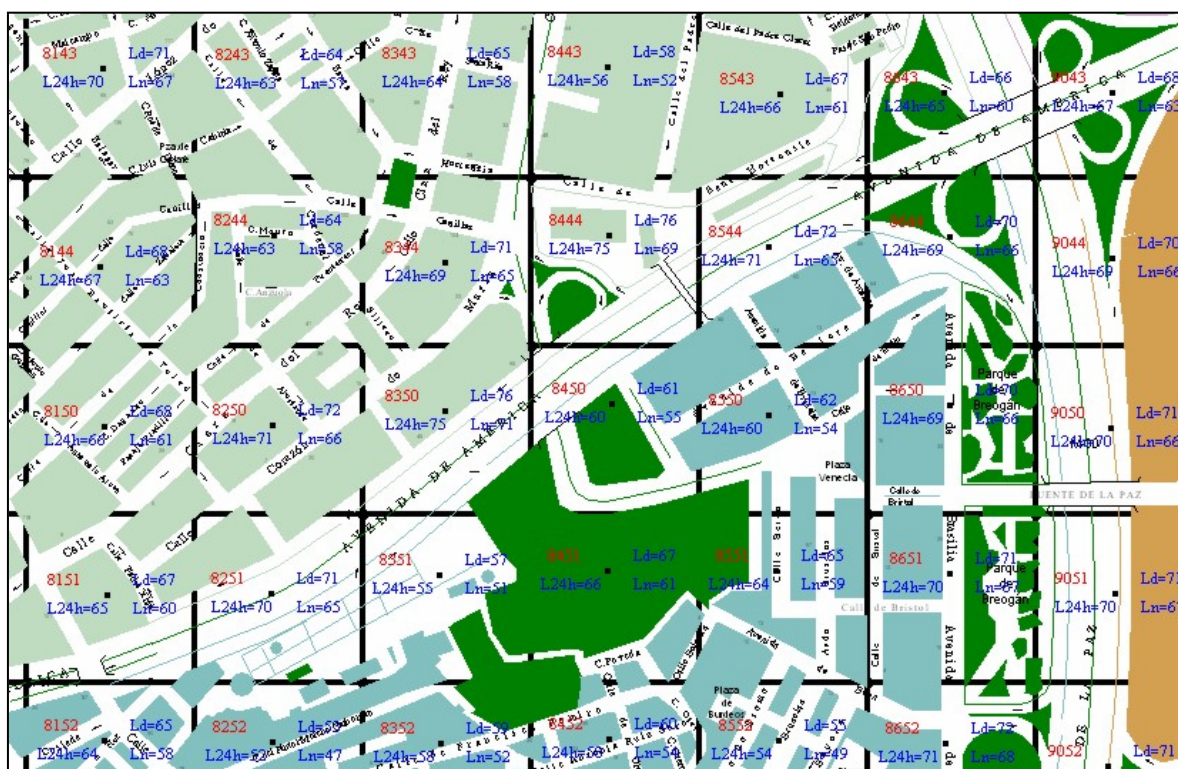
Los datos de niveles sonoros contenidos en el Plano son enteros, resultantes de un redondeo, a pesar de que inicialmente se registrasen con varios decimales provenientes de las mediciones del sonómetro y/o del postproceso de los datos capturados durante la campaña de toma en campo. Ello se debe a que la arquitectura de la aplicación que lo soporta, VisualMap Pro, requiere que los datos con la información de los niveles acústicos sean enteros (requisito imprescindible para realizar algunos tipos de consulta). El procedimiento para calcular los valores del nivel sonoro en los casos en los que resultó imposible que fueran medidos consistió en el promedio aritmético de los valores más cercanos al punto.

La manera de designar cada elemento (punto o cuadrado) es mediante códigos numéricos denominados identificadores, cuya elección se realizó del siguiente modo:

$$[(n.º \text{ de distrito al que pertenece}) \cdot 1000] + (\text{posición que ocupa en el Plano por columnas/filas de norte a sur y de oeste a este})$$

El aspecto final que presenta el Plano es el que se muestra en las figuras 6.5. y 6.6. Como se puede observar, en cada cuadrado se representan el identificador que le corresponde y el nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A ( $L_{Aeq}$ ) para los periodos de 24 horas, diurno y nocturno, expresado en decibelios A (dBA).

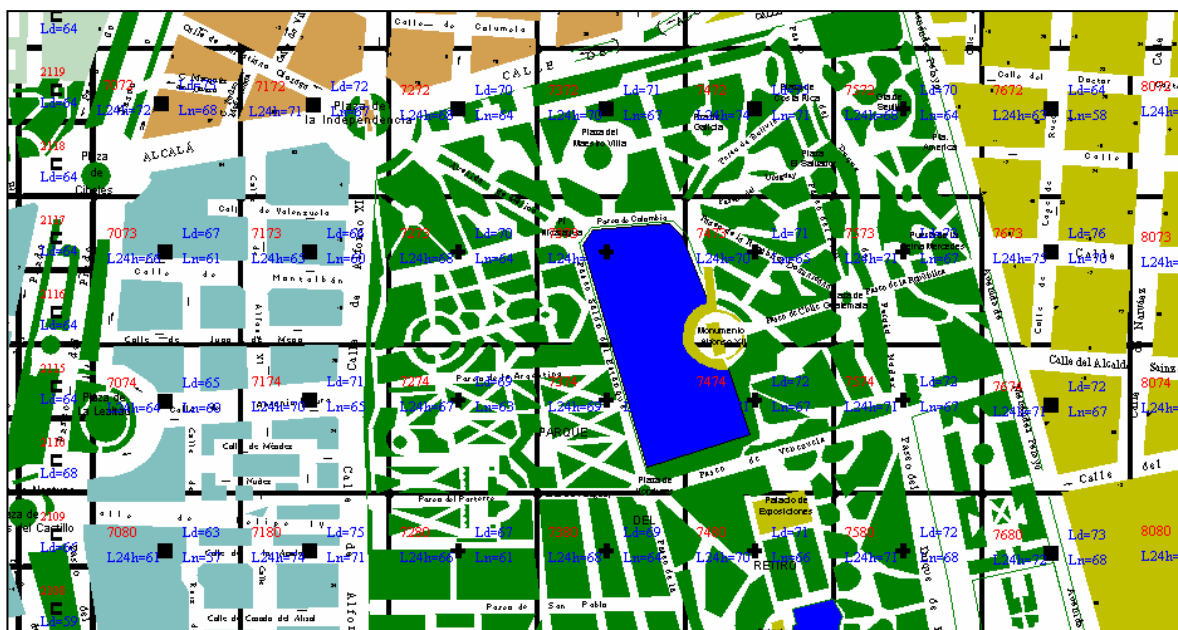
Figura 6.5. Detalle del Plano Acústico de Madrid de 2002, en la zona de la Avda. de América.



Fuente: Ayto. de Madrid, 2002.

Así, el Plano muestra los niveles de ruido que se soportan en el ámbito urbano del municipio de Madrid, el cual incluye zonas residenciales, parques públicos, proximidades de centros escolares o culturales, alrededores de hospitales, y otros edificios y lugares vulnerables al ruido, sin considerar el interior de las viviendas o del lugar de trabajo, ni las actividades en terrenos militares, de acuerdo con la normativa.

Figura 6.6. Detalle del Plano Acústico de Madrid de 2002, en la zona de Retiro-Paseo del Prado.



Fuente: Ayto. de Madrid, 2002.

#### 6.2.3.5.4. Otros planos acústicos de referencia

Desde la promulgación de la *Ley 37/2003, del Ruido* en España ha sido creciente el número de municipios que han elaborado sus planos acústicos, en parte por obligación normativa, de manera que todas las capitales de provincia han ido incorporando los suyos progresivamente.

Resulta de interés comentar el caso del Mapa Acústico de la Ciudad de León, cuya revisión del original del año 1995 tuvo lugar en 2001 (Cortizo *et al.*, 2003), siendo ésta prácticamente coincidente con el de Madrid aquí referido. Fue diseñado con características que guardan cierta similitud, como su estructura en forma de malla con cuadrados de 100 x 100 m, al igual que los empleados en el madrileño distrito de Centro, y una codificación de los elementos por filas/columnas. En su muestreo, al igual que sucedió en el caso de Madrid, a la hora de la adquisición de datos sonoros hubo que replantear la posición de ciertos puntos de medida que resultaban inaccesibles (interior de manzanas, calzada, etc.). Sin embargo, lo más destacable es que en León se apostó por un planteamiento en un entorno de sistemas de información geográfica, por las ventajas que tecnológicamente ello ofrecía de cara a la gestión y análisis de la información recogida en el plano, decisión con la que la converge el presente trabajo.

Por otro lado, es importante mencionar que durante el desarrollo de esta investigación tuvo lugar la elaboración del Mapa Estratégico de Ruido de la Ciudad de



Madrid de 2006 (posteriormente actualizado en 2011), cuya base de datos fue solicitada al Ayuntamiento para poder ser incorporada a este trabajo y así actualizar la información acústica disponible. Sin embargo, desafortunadamente la petición fue denegada. Este Mapa se diferencia del anterior, por un lado, en que ha sido ampliado territorialmente, incluyendo los nuevos desarrollos urbanísticos, y por otro, en que se ha realizado siguiendo un procedimiento híbrido de medidas y cálculo con un programa informático de modelización acústica (Ayto. de Madrid, 2007), empleando algoritmos de predicción basados en las emisiones sonoras de vehículos.

#### 6.2.3.6. Valoración crítica del Plano Acústico de Madrid de 2002 y posibles limitaciones interpretativas

- En primer lugar, es preciso destacar el valor del Plano Acústico de Madrid, ya no sólo por el adelantado cumplimiento que significó respecto a la *Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental* y a la *Ley 37/2003, del Ruido*, sino por el esfuerzo que supuso su realización dada la gran extensión del área cubierta, la valiosa información que recoge y el reflejo de la preocupación de la Administración municipal por la contaminación acústica y el bienestar de los ciudadanos.
- Sin embargo, la información puesta a disposición del público no presenta una fácil visualización en lo relativo a la representación cartográfica realizada, codificación por colores, etc., pudiendo existir otras formas más eficaces y visuales en este sentido.
- Resulta importante precisar que los datos de niveles sonoros divulgados en el Plano son enteros, a pesar de que en origen éstos constasen de varios decimales, como ya se ha dicho, provenientes de las mediciones del sonómetro y/o del postproceso de los datos capturados durante la campaña de toma en campo. El proceso matemático de generalización seguido ha sido el del redondeo al entero más próximo, si bien lo deseable habría sido mantener al menos un decimal, consiguiendo con ello una precisión adecuada para la realización de análisis y estudios apoyados en dicha información. Por tanto, este proceso de generalización de la información sonora supone un cierto grado de inexactitud no enmendable en la presente investigación.
- El empleo del promedio aritmético de los valores más cercanos al punto, como procedimiento para calcular los valores de nivel sonoro en los casos en los que resultó imposible que fueran medidos, podría presentar dudas en cuanto a su sentido matemático, advirtiendo que los niveles sonoros se expresan en unidades de tipo logarítmico (dB).
- La codificación de los números identificadores que designan cada elemento (cuadrado) resulta un tanto intrincada, salvo por la utilidad que pudiera presentar el conocer a primera

vista el número de distrito al que pertenece, sin ir más lejos que a la primera o dos primeras cifras. Sin embargo, el trabajo de análisis de una base de datos así identificados puede resultar un tanto confuso.

- Finalmente, el propio diseño del Plano puede introducir ciertas limitaciones a las capacidades de análisis. Por un lado, la estructuración geométrica cuadrículada (malla) de la información sonora puede suponer un importante encorsetamiento; por otro, el desconocimiento de la localización exacta de los puntos muestrales a partir de los cuales se elaboró. La distancia aproximada de 200 m entre puntos muestrales también parece algo desajustada (por excesiva) a los efectos de posibles estudios de detalle. En las zonas donde dicha equidistancia ronda los 100 m (distrito de Centro) se dispone de un grado de información mucho más rica y matizada, acorde con la “rugosidad” geométrica de los entornos urbanos. En este sentido, el objetivo de lograr datos sonoros con mayor densidad espacial o más exhaustivos es muy deseable y como tal se está considerando en la generación de los nuevos planos acústicos, lo cual permitiría mejorar la calidad de los indicadores representados.

#### **6.2.4. REDISEÑO informático del plano acústico de Madrid de 2002 INTEGRADO EN UN SIG COMPATIBLE**

Ya se ha mencionado la importancia que representa el Plano Acústico de Madrid para llevar a cabo esta investigación desde una fase muy inicial, procediendo a realizar su petición formal a la *Unidad de Control Acústico* del Ayuntamiento de Madrid<sup>31</sup>. Éste fue proporcionado impreso en papel, desglosado en varias hojas de gran tamaño cuya composición cubría la totalidad del Plano. En dicha versión impresa, cada cuadrado mostraba su identificador y sus niveles sonoros expresados en  $L_{Aeq\ 24h}$ ,  $L_{Aeq\ día}$  y  $L_{Aeq\ noche}$ , en dBA, como ya se ha comentado anteriormente.

También fue facilitada una versión en formato CD-ROM conteniendo una base de datos construida en Microsoft Access<sup>32</sup> (*vid.* tabla 6.2.) que contenía, en cada fila, el identificador del cuadrado correspondiente (“Punto”), junto a sus niveles sonoros (“L\_día”, “L\_noche”, “L\_24h” y “L\_den”), así como otro identificador de cada cuadrado (“IDMAP”) que sigue otra lógica de numeración diferente a la del campo “Punto” y en la que el primer o primeros (según su caso) dígitos indican el número del distrito (desde el 1 hasta el distrito n.º 21 de Madrid) en donde se ubica tal cuadrado. Se puede afirmar que dicha base de datos

---

<sup>31</sup> Conste aquí el agradecimiento al Ayuntamiento de Madrid, y en concreto a los responsables que atendieron esta petición.

<sup>32</sup> La cual a partir de este momento será denominada como la base de datos “oficial” cada vez que se haga mención expresa a ella.

constituye el “alma” del Plano Acústico, pues contiene toda la información que éste muestra gráficamente.

Tabla 6.2. Base de datos de Microsoft Access que recoge los niveles sonoros de cada cuadrado del Plano Acústico de Madrid de 2002.

cuadrícula : Tabla						
Punto	L_día	L_noche	L_24h	L_DEN	IDMAP	
5283	58	52	57	61	2004	
5284	64	58	63	66	2005	
5290	70	64	68	72	2006	
5291	70	65	69	73	2007	
5292	71	67	70	74	2008	
5293	71	67	70	74	2009	
5381	63	57	62	65	2010	
5382	61	55	60	64	2011	
5383	62	56	60	64	2012	
5384	65	59	64	68	2013	
5390	67	61	66	70	2014	

*Fuente: base de datos del Plano Acústico, Ayto. de Madrid, 2002.*

Esta base de datos oficial suministrada no disponía de la información relativa al  $L_{Aeq,den}$  correspondiente a los cuadrados del distrito de Centro, por lo que este indicador no pudo ser empleado en la fase de análisis de esta investigación.

#### 6.2.4.1. Compatibilidad de archivos

Trabajar con el Plano Acústico de Madrid cedido por el Ayuntamiento no ha resultado sencillo desde el principio, partiendo de la base de que la primera dificultad encontrada fue inmediata: el Plano en formato digital corresponde al proyecto diseñado con la aplicación informática VisualMap Pro empleada por el Ayuntamiento, como se comentó anteriormente, cuyos archivos constituyentes presentan unos formatos específicos que no son compatibles para ser utilizados con ningún otro programa informático habitual relacionado con los sistemas de información geográfica (e. g. ArcGIS, gvSIG, QGIS, IDRISI o similares), lo cual imposibilitaba realizar prácticamente cualquier análisis previsto en el desarrollo de esta investigación.

Tal adversa circunstancia llevó a tomar la decisión de generar desde cero una nueva malla o cuadrícula del Plano Acústico, construida en un formato compatible con la mayoría de los programas informáticos relacionados con las tecnologías de la información geográfica más empleados, tanto a nivel de usuario como profesionales, permitiendo así gestionar y manejar más eficientemente sus datos, facilitar los posteriores análisis espaciales y estadísticos, representar gráfica y cartográficamente la información, asegurar su versatilidad y viabilidad de uso, así como agilizar su actualización futura, en las líneas apuntadas por Arana y Asiain (2001) y Cortizo *et al.* (2003). En definitiva, rediseñar el Plano Acústico de Madrid en un entorno de SIG.

Afrontar esta tarea y solventar tal problema fue bastante costoso en cuanto a tiempo y esfuerzo, constando de los siguientes pasos o etapas:

*Paso 1: generación de una nueva malla con cuadrados de dimensión 200 x 200 m*

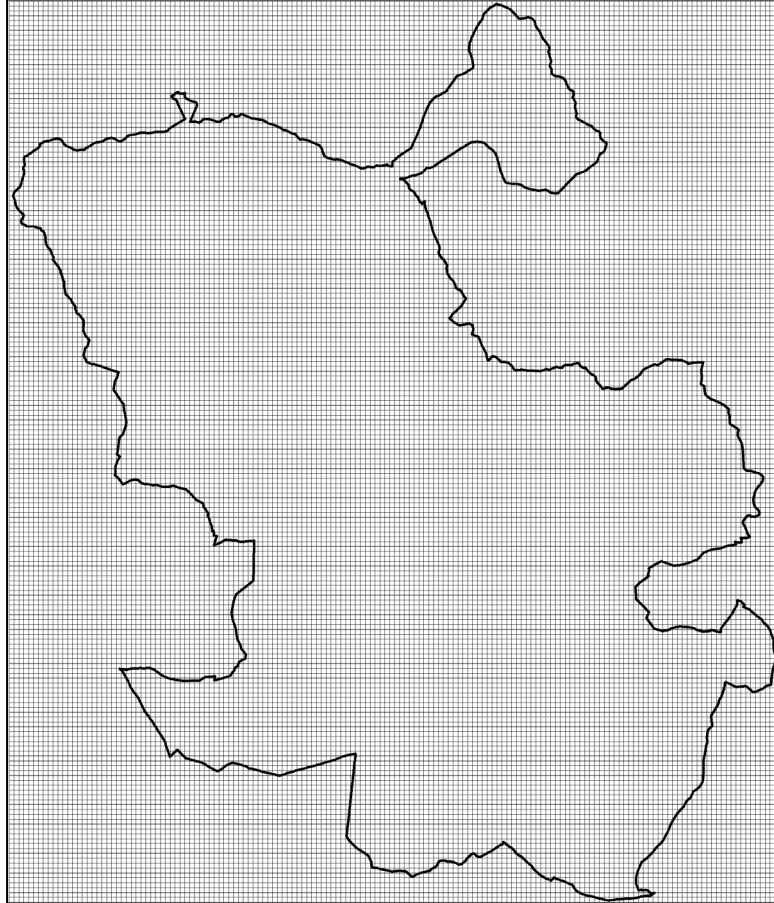
La primera etapa consistió en la generación de una malla ortogonal (“cuadrícula recta”), orientada al norte (líneas verticales en dirección norte-sur). Para ello, se utilizó la aplicación ArcGIS, con la que se generó una malla ortogonal a partir de una serie de parámetros como las coordenadas de origen, el número de filas, el número de columnas, así como el ancho (200 m) y el alto (200 m) de cada cuadrado. Previamente hubo que calcular aquéllos de los anteriores parámetros que fuesen desconocidos.

Al especificar los valores de las coordenadas de origen, en realidad se está introduciendo la correcta localización geográfica de la malla, dado que ésta no se sitúa “flotando” en el espacio sino “anclada al terreno” del municipio de Madrid, es decir, debe estar georreferenciada. Para ello se realizó la correspondiente consulta al Ayuntamiento, el cual proporcionó las coordenadas de los 4 vértices de uno de los cuadrados del Plano Acústico, concretamente el cuadrado con identificador n.º 7171 (ubicado en el distrito de Salamanca). A partir de este elemento se contabilizó el número de filas hacia el sur y el de columnas hacia el oeste, necesario hasta llegar al cuadrado cuyas coordenadas del vértice inferior izquierdo constituirían el origen de la malla, calculando a partir de dicho cuadrado (inferior izquierdo) el número total de filas y columnas necesario para cubrir en su totalidad el municipio de Madrid, ajustándose perfectamente a sus límites. Ello se realizó en previsión de futuras ampliaciones del Plano Acústico para cubrir nuevos desarrollos urbanísticos, para lo que serían necesarias nuevas mediciones en cuadrados aquí aún no considerados. Para cubrir la totalidad de la superficie del municipio de Madrid fueron necesarias 185 filas y 158 columnas, constituyendo un total de 29.230 cuadrados.

De este modo, se georreferenció la malla para que ajustara perfectamente sobre el terreno. El aspecto de esta cuadrícula inicial es el que se muestra en la figura 6.7.

Finalmente, hay que decir que dicha malla está construida en formato vectorial, contenida en un archivo cartográfico con extensión “.shp” (*shapefile*).

Figura 6.7. Malla inicial rectangular orientada y georreferenciada, que da cabida a todo el municipio de Madrid.

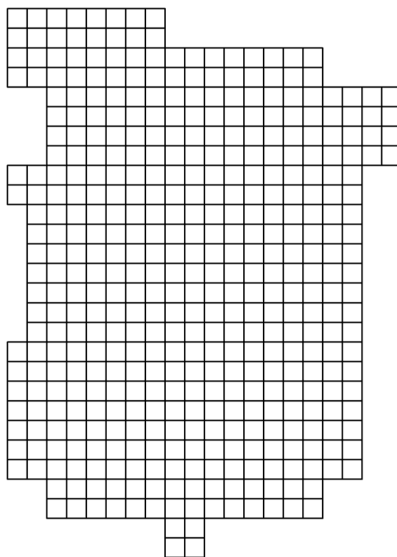


*Fuente: elaboración propia.*

*Paso 2: generación de una nueva malla del distrito de Centro, con cuadrados de dimensión 100 x 100 m*

Dada la peculiaridad del tamaño de los cuadrados del distrito de Centro, más reducido que los del resto de Madrid, se requirió reconstruir separadamente su malla, siguiendo un procedimiento similar al del paso anterior, aunque variando los parámetros para que las dimensiones de cada cuadrado fuesen de 100 x 100 m. El resultado es otra malla cuyo aspecto se muestra en la figura 6.8., también construida en un archivo vectorial de tipo *shapefile*.

Figura 6.8. Malla preliminar del distrito de Centro.



*Fuente: elaboración propia.*

### ***Paso 3: asignación de los identificadores a cada cuadrado de las mallas***

Una vez generadas ambas mallas con las dimensiones, orientación y localización geográfica adecuadas, el paso siguiente consistió en asignar a cada uno de los cuadrados que las componen su número identificador, con el objetivo de que a través de dicha codificación se puedan posteriormente asociar a cada cuadrado los valores sonoros que le corresponden, recogidos éstos en la base de datos de Microsoft Access facilitada por el Ayuntamiento.

Al generar con ArcGIS en los pasos 1 y 2 los dos archivos vectoriales que contienen las mallas, el programa asigna automáticamente a cada uno de los elementos creados (cuadrados) un identificador (ID) propio, es decir, una codificación de los cuadrados. Así, el proceso de recodificar los identificadores de cada cuadrado pasó por aprovechar los ID ya creados automáticamente y sustituirlos por los oficialmente empleados en la base de datos de Microsoft Access, a través de diversas operaciones sucesivas de selección-asignación de elementos para su red denominación. Se trató de un proceso arduo y lento, dada la gran cantidad de cuadrados existentes, y cuyo detalle viene explicado en el Anexo 2 de esta memoria, explicando cuál fue la compleja lógica de numeración de identificadores de cuadrados adoptada oficialmente por el Ayuntamiento, que aquí hubo de ser reproducida.

El documento que sirvió de referencia para desentrañar dicha lógica fue la copia impresa del Plano Acústico que, como ya se ha mencionado, muestra no sólo los niveles sonoros de cada cuadrado, sino también su identificador. El punto de partida de tal proceso fue el cuadrado número 7171, que estaba perfectamente localizado al conocer sus coordenadas, proporcionadas por el Ayuntamiento.

Este proceso se realizó tanto para el archivo vectorial con la malla general de Madrid como para el archivo con la malla del distrito de Centro, el cual por otra parte tenía una lógica de numeración diferente.

Como se puede advertir, se trató de procesos complejos que requirieron de cierto esfuerzo.

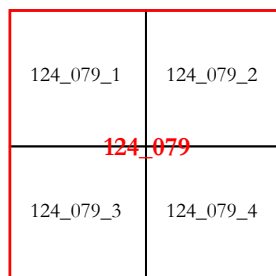
#### *Paso 4: propuesta y asignación de nuevos identificadores a cada cuadrado de las mallas*

Como se puede comprobar en el Anexo 2, y como ya se mencionó en el apartado 6.2.3.5.3., la lógica de numeración de los identificadores de los cuadrados resulta bastante confusa y previsiblemente resulta muy oneroso trabajar con ella, por lo que se decidió generar un nuevo campo de identificadores más coherente y de ágil manejo, que asegurase la versatilidad de la base de datos y su facilidad de actualización futura.

Para ello, se asignó a los cuadrados una nueva numeración propuesta para la identificación (denominada "ID"), de la forma "xxx\_xxx", en la que las tres primeras cifras corresponden al número de fila en la que se ubica y las tres últimas al número de columna. El origen se tomó en el cuadrado superior izquierdo (001\_001), desde el que se fueron contabilizando las filas de norte a sur y las columnas de oeste a este. Para cubrir la totalidad de la superficie del municipio de Madrid, como ya se comentó en el Paso 1, fueron necesarias 185 filas y 158 columnas.

En el distrito de Centro, dado que cada grupo de cuatro cuadrados de 100 x 100 m estaría cubierto imaginariamente por un cuadrado de 200 x 200 m, la codificación consistió en mantener el identificador de éste último, añadiendo "\_1", "\_2", "\_3" ó "\_4" según el cuadrado se ubique en el primer, segundo, tercer o cuarto cuadrante (similamente a la distribución de hojas que sigue el Mapa Topográfico Nacional del Instituto Geográfico Nacional de España, en la que cuatro mapas a escala 1:25.000 quedan contenidos dentro de uno 1:50.000), de la manera ilustrada en el ejemplo de la figura 6.9.

Figura 6.9. Ejemplo de identificación propuesta para los cuadrados de 100 x 100 m del distrito de Centro.



*Fuente: elaboración propia.*

#### ***Paso 5: unión de la malla del distrito de Centro al resto de la malla de Madrid***

Hubo que eliminar los cuadrados de 200 x 200 m que en el Paso 1 quedaron generados sobre la superficie del distrito de Centro (para evitar superposiciones y repeticiones), dejando así hueco para insertar allí esta otra malla menor. Posteriormente se procedió a realizar la unión de las dos capas vectoriales (mallas) mediante una operación de geoprocésamiento, de nuevo en el entorno de ArcGIS. El resultado es una nueva capa vectorial (*shapefile*) que contiene una única malla para todo Madrid (ver figura 6.10.), en la que los cuadrados correspondientes al distrito de Centro presentan 100 m de lado y los demás 200 m, todos ellos ya con su correspondiente identificador oficial “Punto” (tras el Paso 3) e identificador propuesto “ID” (tras el Paso 4), como puede verse en su base de datos asociada.

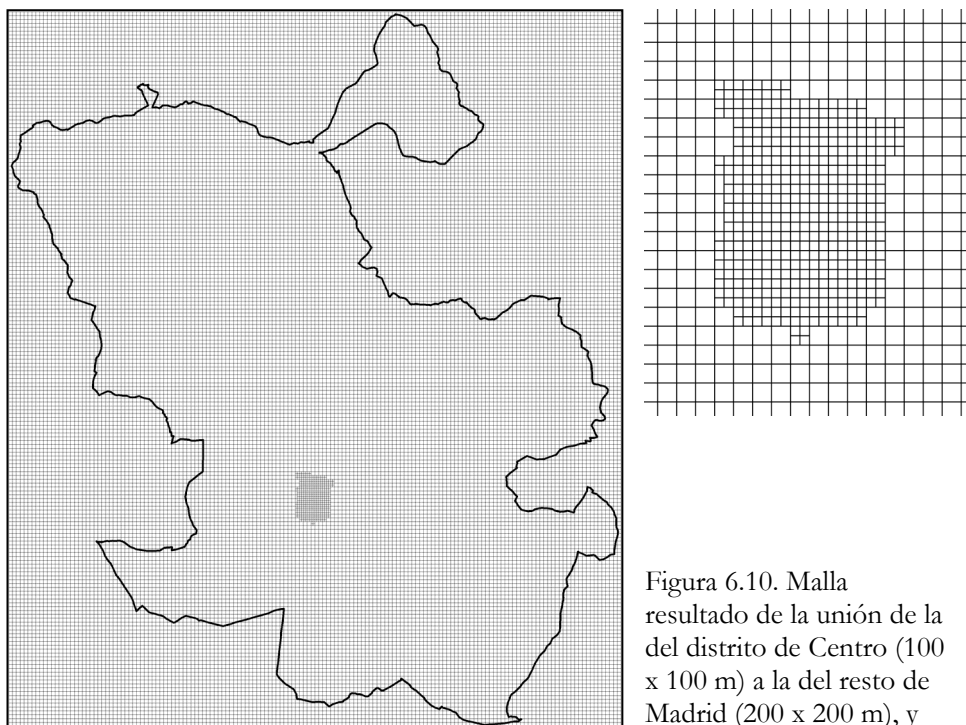


Figura 6.10. Malla resultado de la unión de la del distrito de Centro (100 x 100 m) a la del resto de Madrid (200 x 200 m), y



### **Paso 6: unión de la base de datos sonoros oficial del Plano Acústico de Madrid a la nueva malla generada**

Los atributos (base de datos asociada) de la malla generada tan solo contienen información de los identificadores de cada cuadrado, tanto los designados por el Ayto. (en el campo “Punto”), como los nuevos propuestos (en el campo “ID”).

La base de datos asociada al Plano Acústico de Madrid, además de los identificadores de cada cuadrado, “Punto”, contiene otros campos (columnas) antes mencionados con la información acústica “L\_día”, “L\_noche”, “L\_24h”, “L\_den” e “IDMAP”.

La operación pertinente a realizar es la unión de las dos tablas, acción sencilla en el entorno ArcGIS, por medio de un campo común que exista en ambas, en este caso “Punto”. El resultado es que en la base de datos del archivo vectorial con la malla generada, a cada cuadrado se le añade su información oficial correspondiente de niveles sonoros (ver figura 6.11.).

Figura 6.11. Unión de tablas, obteniendo la tabla completa final con la información acústica de cada cuadrado.

**Attributes of malla\_ruido\_madrid\_200\_100\_id**

Shape*	Punto	Cuadrante	Id
Polygon	4564		122_068
Polygon	4664		122_069
Polygon	5064		122_070
Polygon	5164		122_071
Polygon	5264		122_072
Polygon	5364		122_073
Polygon	5464		122_074
Polygon	5564		122_075
Polygon	623	3	122_076_3
Polygon	723	4	122_076_4
Polygon	624	1	122_076_1
Polygon	724	2	122_076_2

**cuadrícula : Tabla**

Punto	L_día	L_noche	L_24h	L_DEN	IDMAP
5283	58	52	57	61	2004
5284	64	58	63	66	2005
5290	70	64	68	72	2006
5291	70	65	69	73	2007
5292	71	67	70	74	2008
5293	71	67	70	74	2009
5381	63	57	62	65	2010
5382	61	55	60	64	2011
5383	62	56	60	64	2012
5384	65	59	64	68	2013
5390	67	61	66	70	2014

**Attributes of malla\_ruido\_madrid\_PROV**

Shape*	Punto	IDMAP	Id	L_día	L_noche	L_24h	L_DEN
Polygon	20061	8014 069_049		57	51	56	60
Polygon	15060	8007 068_047		53	47	52	56
Polygon	16060	8009 068_048		54	48	54	58
Polygon	20060	8013 068_049		56	50	55	59
Polygon	15051	8006 064_047		56	50	54	58
Polygon	14050	8003 063_046		54	48	53	56
Polygon	15050	8005 063_047		56	50	54	58
Polygon	14044	8002 062_046		54	48	53	56
Polygon	15044	8004 062_047		55	49	54	57
Polygon	14043	8001 061_046		54	48	53	56
Polygon	1201	1215 133_079_3		67	60	66	0
Polygon	1301	1241 133_079_4		62	55	61	0

Fuente: elaboración propia.

### ***Paso 7: eliminación de los cuadrados sobrantes, no considerados en el Plano Acústico***

El Plano Acústico de Madrid no tiene forma rectangular como la malla generada (*vid.* figura 6.10.), sino que las mediciones se realizaron preferentemente sobre las zonas urbanizadas, lo que produce la existencia de ciertos huecos correspondientes a carreteras nacionales, zonas verdes periurbanas, etc. La lógica seguida en la asignación de identificadores (“Punto”) respeta los huecos correspondientes a los cuadrados donde no hubo medición sonora, de manera que, por ejemplo, si al sur del cuadrado n.º 5690 hay tres “vacíos” (e. g. por tratarse de un área no urbanizada), el cuarto cuadrado poseerá el n.º 5694 (y ambos registros estarán ubicados consecutivamente en la base de datos oficial, al no incluirse los tres anteriores por carecer de datos de niveles sonoros).

Si embargo, en la malla vectorial aquí generada existen todos los cuadrados desde el de origen hasta completar la extensión rectangular de la malla (en el ejemplo anterior, sí que existirían los cuadrados n.º 5691, 5692 y 5693).

Para eliminar de la malla vectorial creada estos cuadrados sobrantes que no disponen de información sonora (sin mediciones), y así por fin conseguir tener reconstruido el Plano Acústico totalmente, en la base de datos asociada se realizó con ArcGIS una selección y borrado de aquellos cuadrados que no contuviesen información de ruido, es decir, que tras la unión con la base de datos oficial (Paso 5), los campos (columnas) correspondientes a “L\_día”, “L\_noche”, “L\_24h” o “IDMAP” hubiesen quedado vacíos<sup>33</sup> (continuando con el ejemplo anterior, sería el caso de los cuadrados 5691, 5692 y 5693). El resultado es la malla de la figura 6.12.

#### **6.2.4.2. Depuración y corrección de anomalías del Plano Acústico de 2002**

A lo largo del periodo de realización de las tareas anteriormente descritas, se fue llevando a cabo la acción paralela de revisión e identificación de ciertos errores existentes en la versión oficial del Plano Acústico, manteniendo un diálogo fluido con el Ayuntamiento en pro de una colaboración en la depuración del mismo. De este modo, se dio aviso a la Administración local de contingencias detectadas en cuanto a:

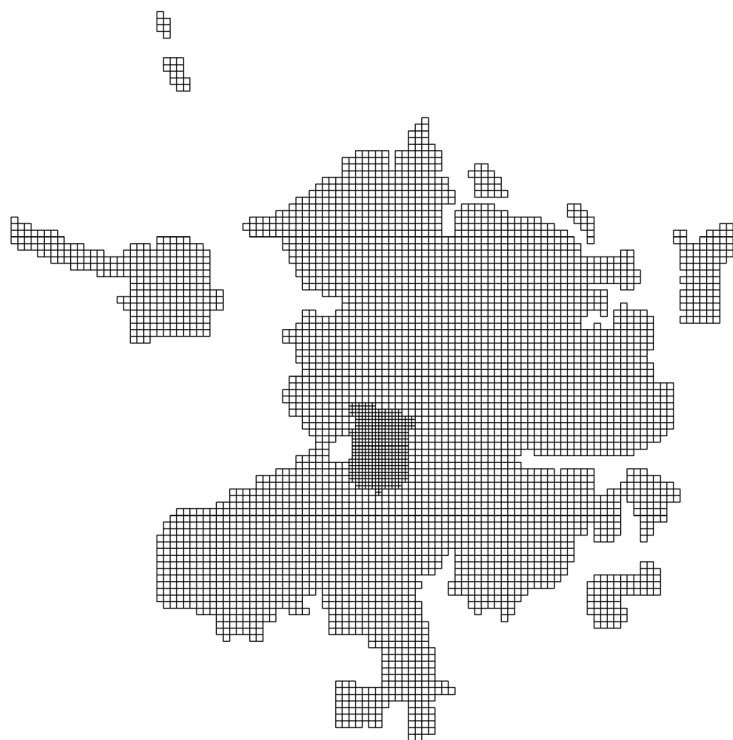
- Errores en los datos de algunos cuadrados aislados o de grupos de ellos, en determinados distritos, preferentemente en las zonas limítrofes.

---

<sup>33</sup> No se hace mención del campo “L\_den” ya que, como se ha comentado con anterioridad, está vacío en el caso de los cuadrados del distrito de Centro puesto que no se dispuso de dicho indicador, por lo que se produciría un error si se emplease como campo-criterio a partir del cual realizar la selección pretendida.

- Algunos cuadrados que no existían.
- En la aplicación VisualMap Pro una serie de cuadrados aparecían contorneados, pero vacíos, y eran inexistentes en la base de datos de Microsoft Access.
- Existencia de 4 cuadrados de 100 x 100 m del distrito de Centro incluidos a su vez dentro de otro cuadrado de 200 x 200 m
- Identificación de algunos cuadrados cuya numeración de identificación presentaba puntos de millar indebidos en la aplicación VisualMap Pro, situados en el distrito de San Blas. Si se considera, como ya se ha comentado anteriormente, que los números identificadores de cada cuadrado son la combinación del número de columna y de fila en las que se ubica, el punto de millar crea cierta confusión. Así, por ejemplo, la casilla “10242” (columna “102”, fila “42”) aparecía identificada como “10.242”.

Figura 6.12. Malla del Plano Acústico de Madrid totalmente rediseñada, en formato vectorial.



*Fuente: elaboración propia.*

Todas estas anomalías se corrigieron ágilmente. Por otra parte, el Ayuntamiento fue dando aviso de otros cambios pertinentes a realizar, fruto de su propio trabajo. Fundamentalmente, éstos concernieron a la numeración de identificadores de los cuadrados del distrito de Centro, que se modificó en su totalidad al presentar rarezas en la secuencia de numeración, produciéndose frecuentes extraños saltos de un cuadrado al siguiente, según

se avanzaba de norte a sur, en cada una de las columnas. Por tanto, hubo que ir actualizando así la nueva malla vectorial generada.

Es importante reseñar que la existencia de estas anomalías detectadas y aquí comentadas representan una muy reducida proporción respecto del conjunto del Plano Acústico oficial de Madrid, y que en ningún momento han restado valor ni lo han desvirtuado, sino más bien lo contrario, es decir, han puesto de manifiesto el delicado trabajo subyacente a su elaboración, así como han posibilitado el diálogo con el Ayuntamiento.

\* \* \*

Tras la finalización de todas las tareas recién descritas se obtuvo por fin el Plano Acústico de Madrid depurado, definitivo y listo para trabajar con él, integrado en un entorno de SIG y accesible a todas las ventajas que ofrecen las tecnologías de la información geográfica en cuanto a compatibilidad, integración, gestión, manipulación, búsquedas, consultas, análisis y representación gráfica de los datos (Moreno Jiménez, 2007 a). Este paso supuso un hito importante y novedoso en esta investigación, e induce a la reflexión sobre la futura arquitectura informática adecuada para los nuevos planos acústicos que deban confeccionarse, aduciendo a la idoneidad de las tecnologías geográficas aquí propuestas y empleadas.

#### **6.2.5. Otros RECURSOS municipales de difusión de la información ACÚSTICA en Madrid**

El Ayuntamiento de Madrid, siguiendo las indicaciones de la normativa existente sobre el derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente, en aras de su difusión y la concienciación de los ciudadanos ante los problemas de contaminación ambiental, incluyendo la acústica, ha dispuesto diferentes recursos, como puntos de información, pantallas informativas en la vía pública, centro de atención telefónica, etc.

Sin embargo, una de las mayores apuestas ha sido la creación del *Sistema de Información Medioambiental (SIM) del Ayuntamiento de Madrid*, posteriormente redenido como *Sistema Integral de la Calidad del Aire*, servicio puesto a disposición de los ciudadanos, empresas e instituciones, en el que se informa de los niveles de los diferentes contaminantes atmosféricos, dedicando un apartado exclusivo a la contaminación acústica. Según fuentes municipales, el 80 % de la financiación de la puesta en marcha de este sistema provino del Fondo de Cohesión de la Unión Europea. A través de Internet se puede consultar la *Red de Vigilancia de la Calidad del Aire*, en la que se integra la **Red de Control de la Contaminación Acústica** (<http://www.mambiente.munimadrid.es>). Cuenta con una serie de estaciones remotas de medición de contaminantes atmosféricos, sonido y variables meteorológicas, y permite examinar un informe diario, mensual e histórico del  $L_{Aeq}$  (dBA) y los índices percentílicos  $L_{01}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{99}$ , con un decimal de precisión.

Parte de la información que el sistema permitía consultar libremente a través de su web era precisamente el Plano Acústico de Madrid (ver figura 6.13.), mediante una interfaz interactiva con diferentes opciones de visualización, que además posibilitaba realizar consultas según el callejero de la ciudad. Posteriormente fue eliminada esta posibilidad, siendo sustituida por el simple acceso a la descarga en formato PDF de los mapas estratégicos de ruido.

Figura 6.13. Plano Acústico de Madrid de 2002, en su versión para la web del SIM.



*Fuente: Ayto. de Madrid, 2002.*

### 6.3. LIMITACIONES DE LAS FUENTES DE DATOS SONOROS

El objetivo de este breve apartado es realizar una valoración crítica sobre una de las limitaciones que afectan a esta investigación, en relación fundamentalmente con los datos acústicos (y su georreferenciación) de los que se ha dispuesto. Es importante mencionar que el momento temporal de referencia en este estudio corresponde al año 2002, fecha en que fue publicado el Plano Acústico de Madrid del que provienen los datos de niveles sonoros empleados en el análisis y el cual constituye la fuente de información principal aquí utilizada. Conste aquí el agradecimiento a los responsables que entonces nos facilitaron generosamente tales datos.

Durante el desarrollo de esta investigación tuvo lugar la elaboración por parte del Ayuntamiento de Madrid del Mapa Estratégico de Ruido de 2006 (y su actualización en 2011) para la ciudad, cuya base de datos fue solicitada reiteradamente al organismo competente para poder ser incorporada a este trabajo y así actualizar la información acústica disponible. Sin embargo, desafortunadamente la petición fue denegada y no se pudo contar

con los nuevos datos sonoros, de manera que el estudio hubo de ceñirse a los inicialmente facilitados en 2002, imposibilitándose así la oportunidad de realizar lo que podría haber sido un fecundo análisis comparativo y diacrónico del ambiente acústico de Madrid. Es posible la consulta en Internet de estos nuevos mapas con la finalidad de informar al ciudadano, pero tan sólo a nivel de descarga de los informes y cartografía en formato PDF, no pudiendo accederse a la base de datos de la que se nutre. Esas importantes limitaciones a la capacidad de estudio aconsejaron posponer cualquier análisis (que habría sido un tanto superficial) hasta mejor ocasión.

No obstante todo lo anterior, se desea hacer notar que esta investigación está abierta a desarrollos futuros (tal cual se apunta en el título del capítulo 9. “Conclusiones y perspectivas”) o a posibles actualizaciones con datos sonoros más recientes provenientes de nuevas ediciones del Plano Acústico de Madrid, que puedan además contemplar la ampliación de su cobertura con los nuevos desarrollos urbanísticos que se van consolidando hacia la periferia madrileña, acordemente con el crecimiento urbano.

#### **6.4. OTROS DATOS Y FUENTES<sup>34</sup>**

Como ya se ha mencionado, el Plano Acústico de Madrid de 2002, elaborado por el Instituto de Acústica del CSIC para el Ayuntamiento de Madrid, ha sido la principal fuente de datos empleada en esta investigación, a cuya descripción y características se ha dedicado bastante atención en los apartados previos. Junto a él, otras fuentes han completado la información manejada. Unas han servido para apoyar la fase de conceptualización del problema objeto de estudio, mientras que otras han sido necesarias para la provisión de los datos empleados en los diferentes análisis, geoprocесamientos y representaciones cartográficas. En síntesis, se trata de fuentes bibliográficas, estadísticas y documentales, acompañadas por otras de tipo cartográfico.

Para el desarrollo de la investigación desde el punto de vista del análisis empírico ha sido necesario solicitar a diversos organismos oficiales diferentes contenidos en formato digital para poder ser tratados, analizados y/o representados con la ayuda de tecnologías informáticas:

En primer lugar, ha habido que disponer de geodatos en forma de capas de información cartográfica (según los modelos vectorial y raster) relativas a la zona de estudio. La tabla 6.3. recoge los más sustantivos empleados. La manera como venga estructurada la geoinformación influye en gran medida a la hora de planificar, diseñar y decidir los procedimientos metodológicos y analíticos a seguir, por tal razón se procuró solicitar ésta

---

<sup>34</sup> Se desea agradecer a los diversos organismos por la información y datos facilitados para la realización de esta investigación.

siempre con la estructura adecuada y el nivel de información requerido, así como debidamente georreferenciada.

Tabla 6.3. Capas cartográficas solicitadas y su procedencia.

Capa cartográfica	Fuente
Delimitaciones administrativas del municipio de Madrid (distritos y barrios) de 2001	Comunidad de Madrid, Instituto de Estadística (IECM)
Núcleo urbano de Madrid capital de 2001	Comunidad de Madrid, Instituto de Estadística (IECM)
Ámbitos y dotaciones del Plan General de Ordenación Urbana de Madrid (PGOUM) de 1997	Ayuntamiento de Madrid, Gerencia Municipal de Urbanismo
Cartografía Digital de Madrid a escala 1:1.000 de 2003	Ayuntamiento de Madrid, Área de Gobierno de Urbanismo, Vivienda e Infraestructura
Anotaciones topográficas de la Cartografía Digital de Madrid a escala 1:1.000 de 2004	Ayuntamiento de Madrid, Área de Gobierno de Urbanismo, Vivienda e Infraestructura
Cartografía catastral digital urbana del municipio de Madrid de 2003	Gerencia Regional del Catastro de Madrid (proporcionado por el IECM)
Intensidad media diaria (IMD) del tráfico rodado de Madrid de 2002	Ayuntamiento de Madrid, Gerencia Municipal de Urbanismo
Imagen de satélite IKONOS de Madrid de 2006	Ayuntamiento de Madrid, Dirección General de Desarrollo y Tecnologías de la Información

*Fuente: elaboración propia.*

Complementariamente a las anteriores, se han efectuado numerosas consultas, a través de Internet, de cartografía digital, imágenes de satélite, ortofotografías, fotografías digitales de las fachadas de edificios, etc. que han servido para hacer comprobaciones o ampliar información, en portales como:

- Visor IBERPIX del Instituto Geográfico Nacional.
- MAPABase (información espacial del IGN y contenidos estadísticos del INE).
- NOMECALLES Nomenclátor Oficial y Callejero de la Comunidad de Madrid.
- Visor Cartográfico y de Planes PLANEA de la Comunidad de Madrid.
- Visor de Planeamiento Urbanístico de la Comunidad de Madrid.
- Guía Urbana del Ayuntamiento de Madrid.
- Sistema de Información Geográfica de Urbanismo del Ayuntamiento de Madrid.

- Sistema de Información Geográfica del Avance del Plan General de Ordenación Urbana de Madrid, del Ayuntamiento de Madrid.
- Google Maps España.
- Páginas Amarillas.

En segundo lugar, se han requerido bases de datos estadísticos solicitadas a determinados organismos concretos, necesarios para el segundo gran bloque de análisis (capítulo 8.) relativo al estudio de la calidad del entorno sonoro de determinados equipamientos y dotaciones urbanas. Éste es el caso de los recogidos en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Capas cartográficas solicitadas y su procedencia.

<b>Datos</b>	<b>Fuente</b>
Catálogo de Hospitales de la Comunidad de Madrid a fecha 31 de diciembre de 2003	Comunidad de Madrid, Consejería de Sanidad y Consumo
Censo de Población y Viviendas de 2001	Comunidad de Madrid, Instituto de Estadística (IECM)
Padrón Municipal de Habitantes de Madrid, revisión a 1 de enero de 2002	Ayuntamiento de Madrid, Dirección General de Estadística
Censo de Población y Vivienda de 2001	Instituto Nacional de Estadística (INE)

*Fuente: elaboración propia.*

Las fuentes de información descritas fueron tratadas mediante distintos métodos de análisis detallados, los cuales son convenientemente comentados en sus correspondientes capítulos en este documento.

Finalmente, debe hacerse notar, como ya se ha mencionado, que el momento temporal de referencia en este estudio corresponde al año 2002, por ser ésta la fecha en que fue publicada la principal fuente de datos aquí empleada: el Plano Acústico de Madrid. Ello motivó que el resto de información solicitada objeto de tratamiento y análisis fuese coetánea o de la mayor proximidad temporal posible. Por tanto, los resultados y hallazgos empíricos se refieren al momento correspondiente a la situación existente en torno a esa fecha.

No obstante lo anterior, la cantidad de hallazgos aquí encontrados aportan un primer diagnóstico detallado y fundamentado de la situación acústica en Madrid, valioso en primera instancia por la novedad de sus aportaciones y, sobre todo, por sus propuestas metodológicas dirigidas al análisis de la contaminación acústica urbana y su potencial afección, eventualmente aplicables en otras ciudades.



## **6.5. CUESTIONES METODOLÓGICAS Y PROCEDIMENTALES**

### **6.5.1. PLAN DE TRABAJO Y DISEÑO METODOLÓGICO**

La realización del estudio se estructuró conforme a un plan de trabajo que contempló las siguientes tareas:

- Planteamiento del problema y formulación detallada de hipótesis, en base a una reflexión sobre el objeto y área de estudio.
- Recopilación y análisis bibliográfico. Conceptualización y revisión del estado de la cuestión.
- Obtención de cartografía digital (Comunidad de Madrid, Ayuntamiento de Madrid) y preproceso de la misma.
- Obtención de los datos de niveles sonoros urbanos del municipio (Ayuntamiento de Madrid). Conversión e integración de los mismos en un SIG.
- Determinación de unidades espaciales y especificación pormenorizada del protocolo de tratamiento de datos.
- Caracterización y realización de cartografía (2D) de los niveles sonoros observados en la ciudad, a la escala adecuada y por periodos temporales relevantes, por medio de aplicaciones informáticas, a partir del procesado de los datos originales del Ayuntamiento de Madrid.
- Aplicación de los procedimientos de análisis. Manipulación y tratamiento de la información. Empleo de tecnologías de la información geográfica, técnicas estadísticas, software específico, etc.
- Análisis de niveles de ruido, por zonas y periodos temporales. Discusión de resultados y obtención de conclusiones metodológicas y empíricas. Análisis comparativos por distritos.
- Análisis cualitativo y cuantitativo de las superficies afectadas por niveles sonoros inapropiados y admisibles (de acuerdo a los criterios establecidos), por periodos relevantes. Discusión de resultados y obtención de conclusiones.
- Definición y aplicación de metodologías de análisis para el estudio del entorno acústico de equipamientos, y para evaluar la potencial afección a las personas en el ámbito residencial.

- Redacción del balance y conclusiones.
- Elaboración del documento del informe final, resultante del procesado y del análisis, mediante programas ofimáticos.

### **6.5.2. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

Este trabajo trata de ofrecer una aproximación metodológica novedosa al estudio del ambiente sonoro urbano, a través de las potencialidades que ofrecen las tecnologías de la información geográfica y apoyándose en la información contenida en los planos acústicos digitales, concretamente el de Madrid, que aporta una muestra representativa del ambiente sonoro general de la ciudad.

Para los fines perseguidos, se conforma primero un modelo de geodatos adecuado para abordar tales cuestiones, y luego se formula y aplica una metodología experimental de análisis espacial idónea para la descripción y caracterización del ambiente acústico, con el soporte de los sistemas de información geográfica y técnicas estadísticas, que ha resultado rigurosa y efectiva para dar respuesta a las cuestiones planteadas.

El problema tratado en este estudio se afronta con una perspectiva que supera algunas limitaciones de los estudios o prácticas de diagnóstico actuales y es ajustada para el logro de los objetivos enunciados. La metodología planteada en el trabajo trata de conjugar la generación de nuevos conocimientos científicos con otros tecnológicos, empleando éstos de una manera innovadora con el fin de alcanzar los objetivos propuestos: se recurre así a las modernas tecnologías de la información geográfica como instrumentos para gestionar, analizar y representar datos, con la ayuda de equipos informáticos. Se trata, por tanto de métodos de análisis cuantitativos apoyados en datos numéricos, que permiten contrastar hipótesis, observar patrones y explorar las características y el comportamiento de las variables consideradas. Al respecto, el proceso investigador seguido se ajustaría a lo que algunos epistemólogos han definido como “tecnociencia” (Echeverría, 2003) y que en Geografía determinados autores han calificado como paradigma geotecnológico (Buzai, 2001) o praxis científica geotecnológica (Moreno Jiménez, 2013).

En cuanto a los métodos y técnicas concretos adoptados, hay que dedicar una especial atención a los sistemas de información geográfica (SIG), dado el importante papel que han desempeñado en el desarrollo y ejecución de este trabajo, para lo cual a continuación se recurre a una breve definición y referencia a sus capacidades.

Un SIG podría definirse como un sistema de aplicaciones informáticas y procedimientos para realizar una serie de operaciones de captura, almacenamiento, manipulación, tratamiento, análisis, modelización y presentación de información georreferenciada, es decir, con una referencia espacial (Burrough, 1986), con vistas a la

resolución de problemas de base territorial y medioambiental (Santos Preciado, 2004). Su esquema de funcionamiento pasa por descomponer o desagregar la realidad en forma de capas, estratos o coberturas temáticas, para poder relacionar posteriormente la información contenida en unas con la de otras (Moreno Jiménez, 2005).

Aunque nacidos en los años 60 del siglo XX, comenzaron a desarrollarse a partir de la década de los 80, y ya en los 90 se produjeron los mayores avances relativos a esta tecnología, en constante evolución hoy en día (Gould, 1998). Sus múltiples aplicaciones se centran en la resolución de problemas, a veces complejos, relacionados con las actividades humanas, en los campos de la planificación y la gestión. Sirven para abordar cuestiones de diversa índole, como las relativas a la localización (¿qué hay en un determinado lugar?), consultas condicionadas del tipo ¿dónde hay...?, examen y observación de distribuciones espaciales, análisis de tendencias o cambios en el tiempo, gestión de rutas y temas relacionados con movimiento en el espacio (transportes, optimización de rutas y de costes, sistemas de navegación, etc.) y modelización y simulación de procesos. Ello les confiere una extraordinaria polivalencia para servir en muy diversos campos: gestión de servicios públicos (sanidad, emergencias, asistencia, etc.), geomarketing, planificación y gestión de infraestructuras, riesgos e impactos, sistemas de información ambiental, urbanismo, sistemas de información catastral, y un largo etcétera.

En este trabajo se ha empleado la tecnología de los SIG (con el programa informático ESRI ArcGIS), como instrumento para gestionar, analizar y representar la información a través de un modelo de datos vectorial, en el que los elementos fundamentales que representan la realidad son puntos, líneas y polígonos, cada uno de ellos con una serie de atributos que hacen referencia a la información que llevan asociada (identificadores, unidades espaciales consideradas, niveles sonoros, etc.). Hay que añadir que la información cartográfica digital con la que se ha trabajado ha sido adecuadamente proyectada y georreferenciada.

Los SIG se caracterizan por su alta capacidad analítica y de geoprocésamiento (*toolbox*), de almacenamiento (*database management systems*) y potencialidad cartográfica, fundamentalmente. Por las ventajas que ofrecen estas herramientas informáticas para manejar más eficientemente los datos, han facilitado en gran medida los posteriores análisis espaciales y estadísticos realizados, así como las numerosas representaciones gráficas y cartográficas obtenidas para mostrar los resultados y a partir de las cuales proceder a su comentario. Por otra parte, la integración del Mapa Acústico de Madrid en un entorno de SIG aquí conseguida asegura su versatilidad y viabilidad de uso, así como agilizará su actualización futura.

Como recursos informáticos adicionales empleados para el desarrollo de este estudio se emplearon programas de tratamiento ofimático (Microsoft Office Word, Access), estadístico (NCSS y Microsoft Excel) y sistemas de tratamiento digital de imágenes (Adobe

Photoshop, IrfanView). También se ha utilizado una cámara fotográfica digital para recopilar fotografías que ilustrasen ciertos pasajes del trabajo.

Los planteamientos y particularidades metodológicas específicas de cada parte del estudio, acordemente a los objetivos contemplados en la investigación, se harán explícitas y detallarán en los capítulos correspondientes, especialmente en las indagaciones recogidas en el capítulo 8., cada una de cuyas partes ha requerido de desarrollos metodológicos específicos. Asimismo, la discusión de resultados se ha ido presentando en cada capítulo. No obstante, a continuación se realiza una breve mención a las técnicas comunes de análisis utilizadas, relacionadas con el empleo de la estadística, a la que se ha recurrido para conseguir un análisis exploratorio de los datos obtenidos directamente partir de las fuentes (previamente pre-procesados en algunos casos), o provenientes de los procesamiento previos con SIG.

Ha sido fundamental el empleo de la estadística descriptiva univariada, por ejemplo a la hora de considerar los niveles sonoros  $L_{Aeq}$  como variable independiente cuantitativa continua, es decir, como factor causante de algún efecto, y a partir de la que hacer inferencias para el conjunto acústico total urbano y poder extraer conclusiones.

Por un lado, se ha recurrido a la elaboración de numerosas representaciones gráficas en forma de histogramas con el objeto de resumir los datos y analizar la distribución de frecuencias de los mismos (Freedman *et al.*, 1993), añadiendo junto al eje horizontal un diagrama de dispersión univariado con la distribución puntos, para ayudar en la interpretación, así como un diagrama de caja.

Por otro, para estudiar las propiedades descriptivas de la distribución o muestra se ha recurrido, según los datos, al cálculo de estadísticos de centralidad o posición (media, mediana, moda, percentiles (10, 25, 50, 75, 90)) y dispersión o variabilidad (máximo, mínimo, desviación típica, amplitud semi-intercuartil, amplitud total o rango) de los valores de las variables ordinales imputadas. En ocasiones, debido a la naturaleza logarítmica de la expresión matemática que define a los indicadores de niveles sonoros (*vid.* apartado 2.1.2.), no ha sido apropiado emplear índices como la media aritmética, varianza o desviación típica, por ejemplo. A continuación se explican brevemente los estadísticos considerados y se justifica su elección.

- Los valores máximo y mínimo aportan información acerca de los extremos, es decir, del rango dentro del cual se encuentran los datos.
- La moda es el valor de mayor frecuencia, *i.e.* el más repetido, pero para este estudio puede constituir un estadístico con menor interés que la mediana, pues aporta menos información sobre la distribución de los valores.

- Para los datos sonoros también se ha preferido emplear la mediana en lugar de la media, aparte de por la ya mencionada naturaleza logarítmica de los indicadores de los niveles sonoros, porque la media queda muy afectada por los valores extremos o atípicos de la distribución, cosa que no le sucede a la mediana, que presenta más resistencia a cambios en los datos y robustez. La mediana se define como el valor a partir del cual la mitad de los elementos u observaciones tiene un valor igual o superior y la otra mitad tiene el mismo valor o inferior. En el histograma de frecuencias, la mediana sería el valor que divide la distribución en dos partes, es decir, deja por debajo y por encima al 50 % de las observaciones (deja a su derecha la mitad del área y a su izquierda la otra mitad). Traduciéndolo a los datos, es el nivel que divide a la distribución de registros ordenada, es decir, que el 50 % de los datos son superiores y el otro 50 % son inferiores.
- Para conocer la variabilidad o variación de los datos se analizan los distintos percentiles, que aportan una noción de la posición relativa que ocupan los datos en la distribución de frecuencias, con la ayuda de gráficas como los ya citados diagramas de caja. El motivo de emplear los percentiles es que suelen ser los estadísticos usados para resumir la información de conjuntos de datos con histogramas que no se aproximen demasiado a la curva normal (o para dividir las poblaciones en grupos). El percentil 25 indica que el 25 % de los elementos presenta un valor igual o inferior, mientras que el 75 % restante tiene un valor superior. Al percentil 25 también se le denomina 1.<sup>er</sup> cuartil, y, al percentil 75, 3.<sup>er</sup> cuartil. El percentil 50 es el decil 5 ó 2.<sup>o</sup> cuartil, y además proporciona el valor de la mediana de la distribución. El diagrama de caja incluido generalmente junto al eje de los histogramas muestra una información muy visual, aparte de la posición y la asimetría, de la variabilidad o variación de los datos analizados, es decir, el grado en que los datos se parecen o diferencian entre sí, en definitiva, para saber cuán representativo es el valor de la mediana (representada con un trazo vertical dentro de cada caja) como medida de tendencia central.
- En los diagramas de caja, ésta se encuentra delimitada superiormente por el 3.<sup>er</sup> cuartil e inferiormente por el 1.<sup>er</sup> cuartil. Cuanto más amplia sea la caja, *i. e.* presenta una mayor amplitud entre los valores de dichos cuartiles (intervalo intercuartílico), mayor será la dispersión de los datos. Ello es similar a la amplitud semi-intercuartil (referida al 50 % central de la distribución), calculada como sigue:

$$\text{Amplitud semi-intercuartil} = Aq = \frac{|3.^{\text{er}} \text{ cuartil} - 1.^{\text{er}} \text{ cuartil}|}{2} = \frac{|\text{percentil 75} - \text{percentil 25}|}{2}$$

Ello viene apoyado, en general, por los valores de la amplitud total o rango, aunque esta última es bastante menos precisa al ser únicamente sensible a los valores extremos (máximo y mínimo) e insensible a los intermedios.

Analizando en los diagramas de caja la posición relativa de la mediana respecto del 1.<sup>er</sup> y 3.<sup>er</sup> cuartil se pueden advertir desequilibrios cuando ésta se encuentre mucho más próxima a uno de ellos que al otro, denotando una cierta asimetría, que puede ser negativa (*i. e.* notable concentración de datos en el tramo alto) o positiva (en el tramo bajo).

Finalmente, los percentiles 10 y 90 proporcionan información de las situaciones más extremas (*e. g.* favorables y graves).

El recurso a estos estadísticos sencillos pero efectivos, ha permitido sustentar en parte el estudio y caracterización del ambiente sonoro urbano de una manera eficaz y obtener resultados concluyentes sobre la situación acústica de la ciudad de Madrid, como se podrá comprobar a continuación en los capítulos siguientes.

## **7. DIAGNÓSTICO DEL AMBIENTE ACÚSTICO URBANO EN MADRID: ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL**

## **7.1. INTRODUCCIÓN**

En este primer gran bloque de resultados de la investigación se estudia la caracterización sonora de la ciudad de Madrid y se define el patrón espacio-temporal de sus niveles de ruido ambiental exterior. Atendiendo a la distribución de los niveles sonoros de los periodos temporales 24 h, diurno y nocturno en Madrid, se realiza un diagnóstico del ambiente sonoro madrileño, lo que permite valorar la adecuación del entorno acústico de la ciudad a las personas y actividades que en ella conviven y analizando el cumplimiento de la normativa.

A continuación se describen los diferentes análisis realizados y se comentan y discuten los resultados obtenidos.

## **7.2. COBERTURA DEL PLANO ACÚSTICO DE MADRID**

### **7.2.1. Cobertura sobre el núcleo urbano de Madrid**

Para ir gradualmente analizando el Plano Acústico de Madrid y la información que aporta, se ha estimado pertinente elaborar en primer lugar un plano que muestre el grado de cobertura del mismo sobre el núcleo urbano de Madrid. En esta representación gráfica se ha superpuesto una capa temática compuesta por la malla de cuadrículas que constituye el Plano Acústico, sobre otra capa correspondiente al núcleo urbano de Madrid de 2001.

Pero previamente conviene analizar por separado esta última capa (representada en la figura 7.1), en la que, dentro del ámbito del núcleo urbano, el hecho geográfico más significativo que se muestra es la extensión del área urbanizada de la ciudad de Madrid dentro del término municipal, en la fecha indicada. A grandes rasgos, en su forma se puede apreciar cómo, aparte del continuo urbano que supone la aglomeración central, existe cierta ocupación urbana a lo largo de los principales grandes ejes de comunicación.

Por área urbanizada se entiende la superficie del territorio que reúna los requisitos establecidos en la legislación urbanística aplicable para ser clasificada como suelo urbano o urbanizado y siempre que se encuentre ya integrada, de manera legal y efectiva, en la red de dotaciones y los servicios propios de los núcleos de población. Así ocurre cuando las parcelas, estando o no edificadas, cuentan con las dotaciones y los servicios requeridos por la legislación urbanística o puedan llegar a contar con ellos sin otras obras que las de conexión a las instalaciones en funcionamiento (Sanz Sa, 2007).

Al superponer sobre esta información la malla del Plano Acústico se obtiene la representación de la figura 7.2, en la que lo primero que se puede observar es la forma que



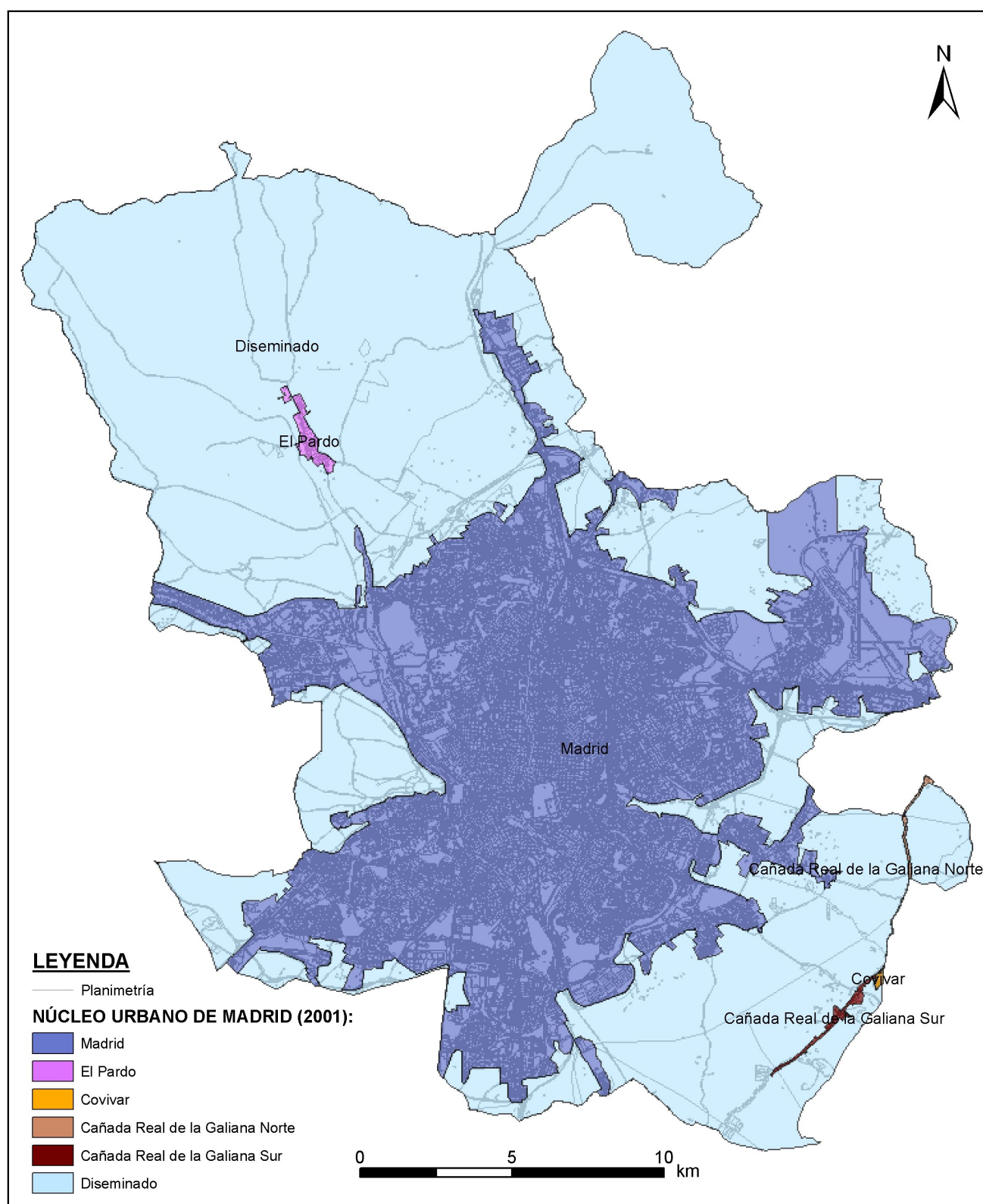
presenta el conjunto de ésta. Se halla ubicada en su totalidad sobre áreas urbanizadas, lo cual es coherente con las premisas conforme a las que fue diseñada. Su morfología irregular perimetral se adapta a la trama urbana, presentando algunos entrantes destacados (por ejemplo, al este y al sur) y salientes (como hacia el noroeste o al sur), que serán comentados más adelante.

Se puede apreciar que la mayor compacidad de cuadrículas se da en toda la parte central del área urbanizada de Madrid, con una marcada continuidad, mientras que en las zonas periféricas existen algunas agrupaciones aisladas de cuadrículas, sobre áreas urbanizadas con un carácter más disperso que en el centro de la capital, bien de reciente expansión (Programas de Actuación Urbanística) o antiguos núcleos de población.

Hacia la zona central de la malla, recordemos, formada por cuadrículas de dimensión 200 m x 200 m, destaca la pequeña malla del distrito de Centro, cuyas cuadrículas presentan una dimensión menor, de 100 m x 100 m.

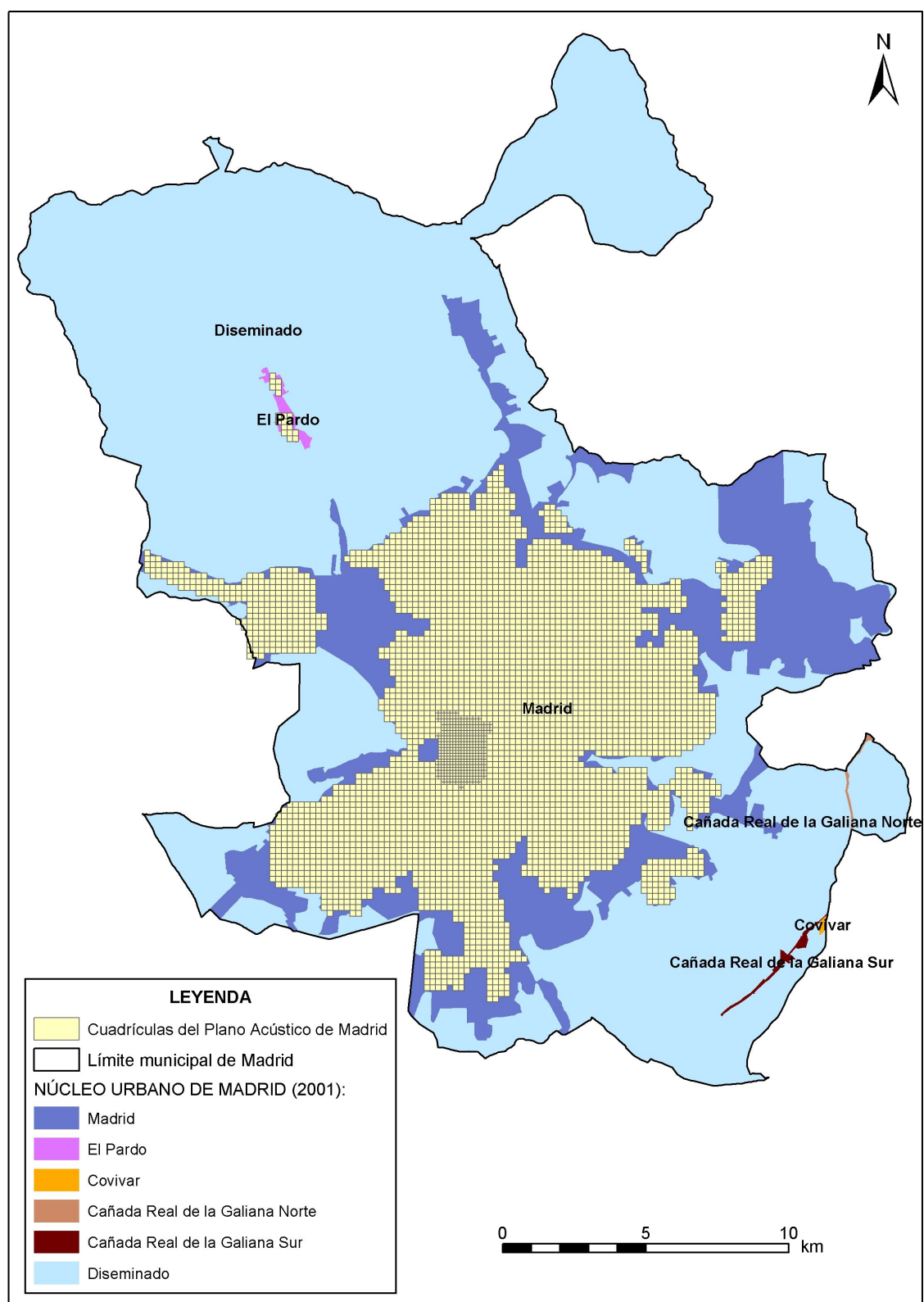
Esta figura 7.1. también es importante, aparte de para hacer análisis en relación con el desarrollo urbanístico, para planificar futuras ampliaciones del Plano Acústico en sus nuevas ediciones, es decir, avistar las previsibles nuevas áreas a cubrir por el mismo.

Figura 7.1. Núcleo urbano de Madrid.



Fte.: elaboración propia a partir de cartografía digital del IECM

Figura 7.2. Cobertura del Plano Acústico de 2002 sobre el núcleo urbano de Madrid.

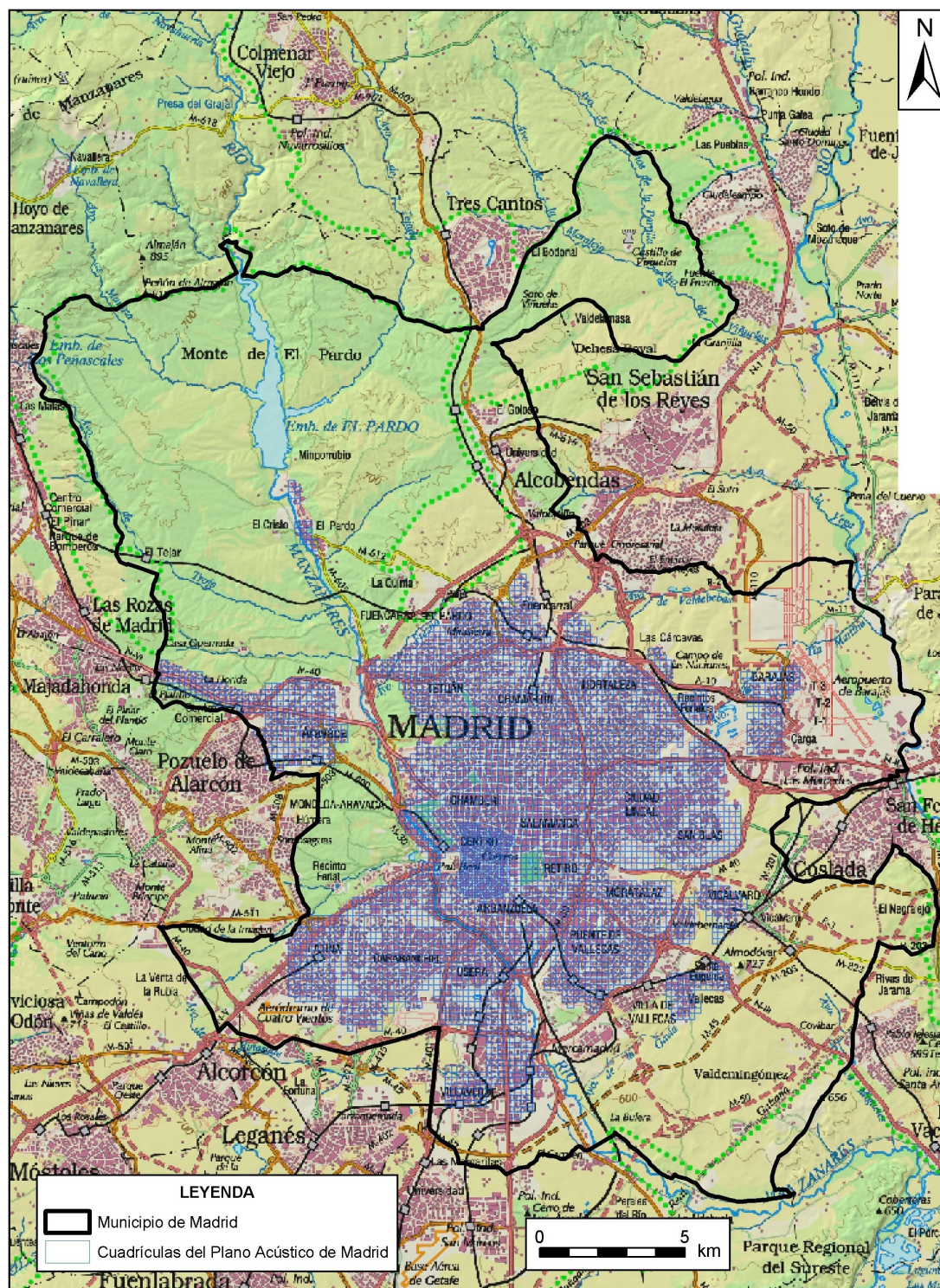


*Fte.: elaboración propia a partir de cartografía digital del IECM.*



Finalmente, se puede completar este primer análisis de cobertura superponiendo la malla a un mapa topográfico (figura 7.3.), observando de nuevo las zonas urbanizadas cubiertas y no cubiertas por el plano.

Figura 7.3. Cobertura del Plano Acústico de 2002 sobre un mapa topográfico de Madrid.



Fte.: elaboración propia a partir de cartografía digital del IECM

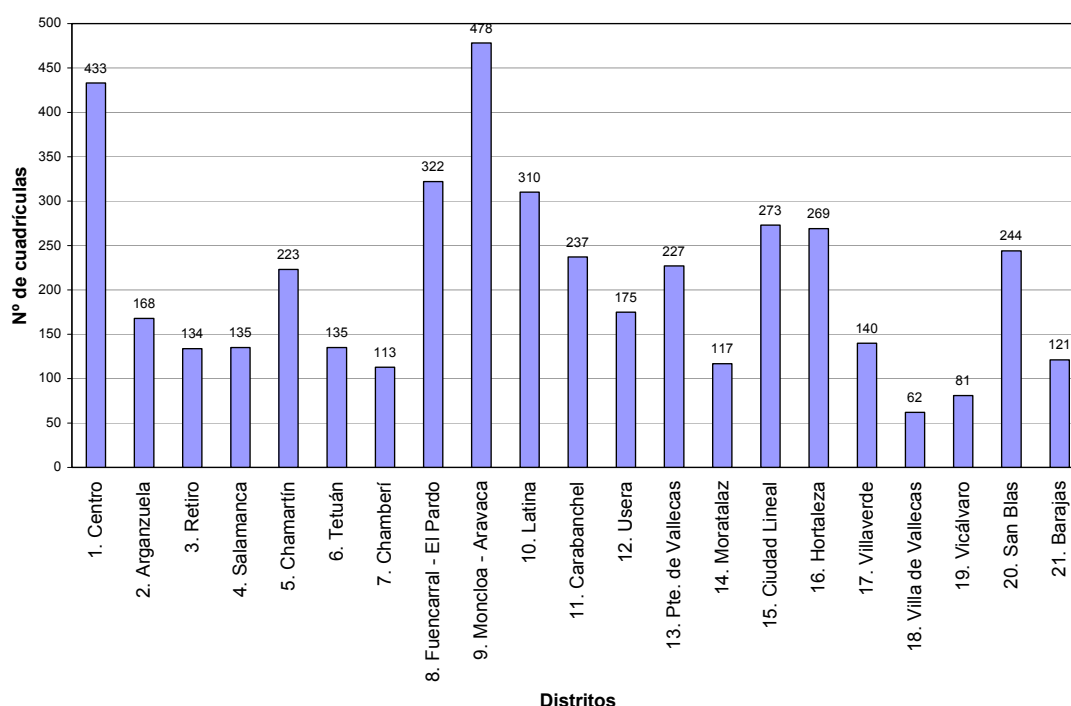
### **7.2.2. Cobertura sobre los distritos y barrios de Madrid**

Este plano, representado en la figura 7.4., se configura como el resultado de la superposición de tres capas temáticas:

- Las cuadrículas del Plano Acústico de Madrid (representadas en color gris con trazo fino).
- Los distritos de Madrid (en trazo negro grueso).
- Los barrios (en trazo negro fino).

Su escala, un tanto más detallada que el mapa anterior, permite observar en qué grado los diferentes distritos que conforman la realidad administrativa del municipio de Madrid son cubiertos por el Plano Acústico.

Los colores de relleno de las cuadrículas no representan ninguna equivalencia con niveles sonoros, tan sólo se han elegido para resaltar la diferencia entre las que corresponden a un distrito u otro. Del total de 4.397 del conjunto de Madrid, el número de cuadrículas que cubren cada distrito se detalla en la figura 7.5.

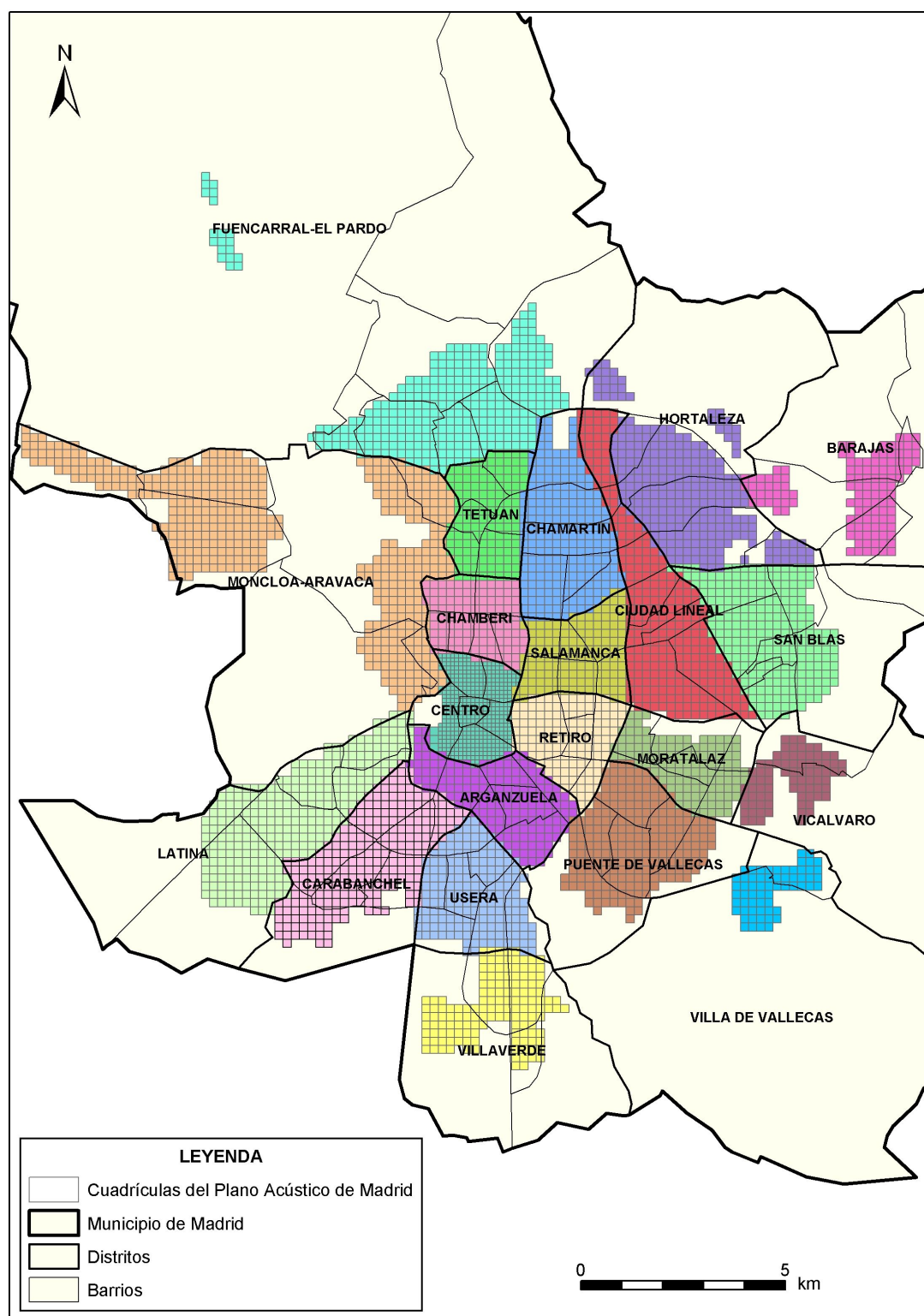


*Figura 7.5. Número de cuadrículas que cubren cada distrito del municipio de Madrid.*  
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.



De nuevo, se puede apreciar la diferente malla del distrito de Centro, formada por cuadrículas cuya dimensión es de 100 m x 100 m.

Figura 7.4. Cobertura del Plano Acústico de 2002 sobre los distritos y barrios de Madrid.



Fte.: elaboración propia a partir de cartografía digital del IECM

A nivel de detalle, se puede comentar el ajuste que existe en las zonas limítrofes entre unos distritos y otros, en lo relativo a la asignación de cuadrículas hacia uno u otro lado del límite, precisamente porque estas zonas son algunas de las que resultaron más conflictivas durante el proceso de elaboración del Plano Acústico. Tal distribución de cuadrículas está bastante bien conseguida.

Se ha incluido dentro de cada distrito la delimitación de los barrios que lo integran, con la finalidad de aportar un elemento más de referencia espacial de cara a evaluar la cobertura del Plano.

En concordancia con lo comentado en la figura 7.2., se puede observar cómo la malla presenta algunos entrantes, en donde la medición de los niveles sonoros se consideró poco relevante para el objeto del estudio o no fue posible, como es el caso de:

- el acceso norte por ferrocarril hasta la estación de Chamartín,
- al este, a lo largo del eje de O'Donnell hasta la carretera M-40,
- el acceso sur por ferrocarril hacia la estación de Atocha, hasta la Estación de Contenedores de RENFE de Méndez Álvaro,
- zonas verdes periféricas, como el Parque Pinar de Barajas (Hortaleza), el Parque Juan Carlos I y el Parque Alameda de Osuna (Barajas), el Parque de Valdebernardo (Vicálvaro), el Parque Emperatriz María de Austria (Carabanchel), la Casa de Campo o la Dehesa de la Villa (Moncloa-Aravaca).
- Y también presenta salientes destacados, como:
- la banda que cubre el crecimiento urbanístico surgido a lo largo de la carretera N-VI, hacia el oeste (Avda. del Padre Huidobro, en Aravaca, y El Barrial, La Florida, El Plantío y Casa Quemada),
- el extremo norte de Fuencarral.

Por otra parte, se observa cómo la mayor densidad de cuadrículas se concentra en toda la parte central del área urbanizada de Madrid, mientras que la continuidad se pierde hacia las zonas periféricas, en donde existen ciertas agrupaciones aisladas de cuadrículas. Este es el caso de sectores del Plano Acústico que cubren determinadas zonas de los distritos de Hortaleza (Las Cárcavas, San Antonio o el recinto P.A.U. de Sanchinarro, Barajas (pueblo de Barajas), Vicálvaro (pueblo de Vicálvaro), Villa de Vallecas, Villaverde (San Cristóbal y Villaverde Alto), Moncloa-Aravaca (Aravaca, El Barrial, La Florida, El Plantío y Casa Quemada) y Fuencarral-El Pardo (El Pardo y Mingorrubio).

Finalmente, hay que destacar un hueco en la malla en la zona oeste del distrito de Centro. Se trata del área correspondiente a las dependencias del Palacio Real y Campo del Moro, en donde no se realizó la toma de medidas de niveles sonoros, probablemente por ser una zona de actividad restringida. Lo mismo es razonable pensar de la citada zona de El Pardo, con sólo dos “islas” de tamaño reducido cubiertas por el Plano.

### **7.3. LOS NIVELES ACÚSTICOS DE MADRID PARA EL PERIODO DE 24 HORAS**

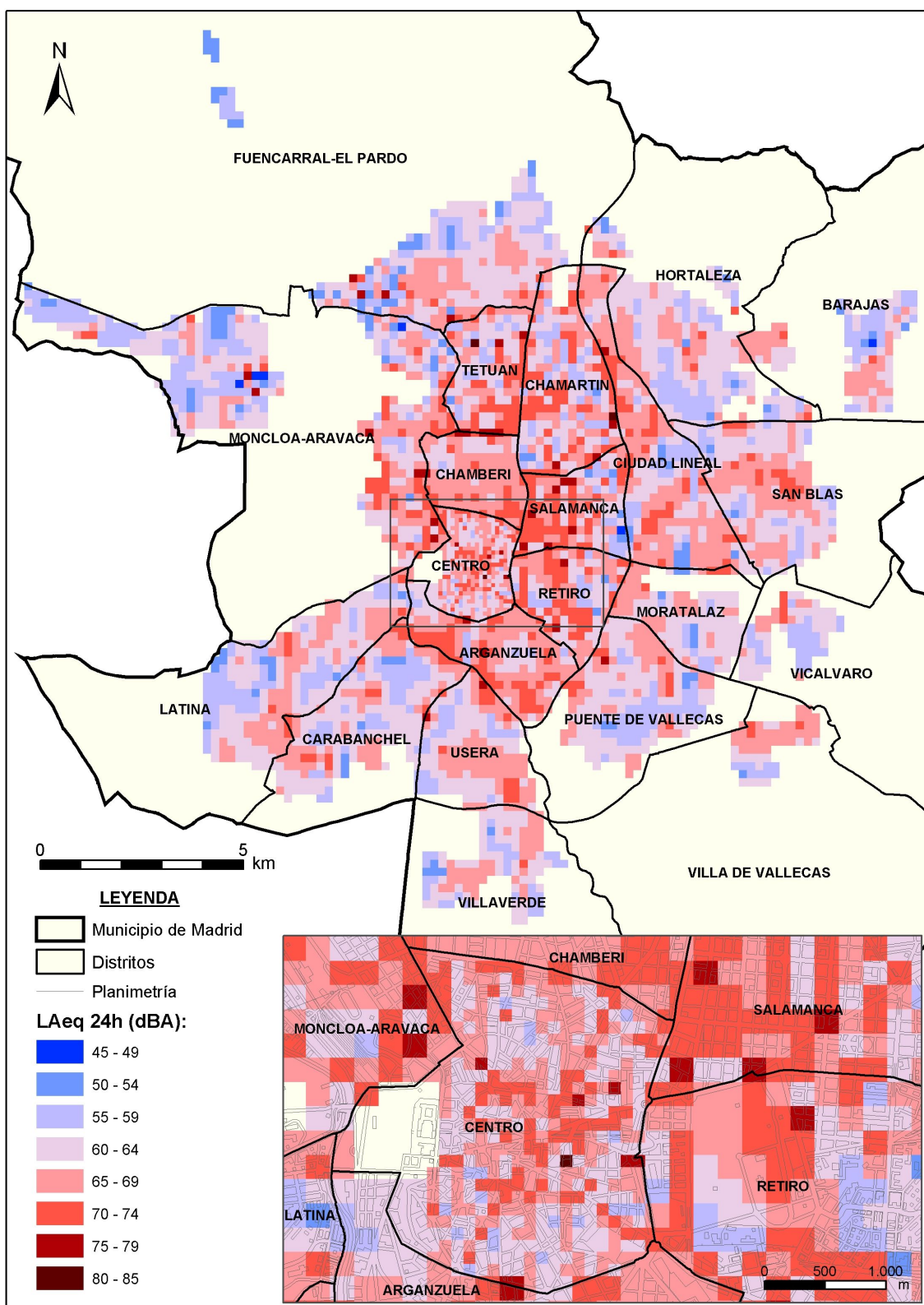
La elaboración del plano de la figura 7.5., que toma como fuente los datos sonoros del Plano Acústico de Madrid de 2002, supone uno de los logros de la investigación en cuanto a que aporta una visualización de la realidad del ambiente acústico general del municipio de Madrid. El indicador acústico empleado para describir el ruido ambiental es el nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A, correspondiente al periodo de 24 horas ( $L_{Aeq}$  24 horas), expresado en decibelios (dBA).

La representación cartográfica se ha realizado mediante la composición de la capa temática que contiene el Plano Acústico y la capa de distritos de Madrid, los cuales van a constituir la unidad espacial de análisis, como ya se señaló en los objetivos. Para la representación de los datos del  $L_{Aeq}$  24 horas se ha adoptado la técnica de coropletas, agrupándolos en 8 clases con una amplitud de 5 dBA cada una, y empleando una escala dicromática desde el azul (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (niveles más elevados). En el plano se ha añadido la ampliación de una zona contenida en la “almendra central” de Madrid para apreciar mejor sus niveles sonoros, en especial los del distrito de Centro (con una malla con cuadrículas de dimensiones 100 m x 100 m), en donde además se ha superpuesto la planimetría con el trazado de las calles, como elemento de referencia añadido.

En primer lugar, es posible analizar visualmente las diferencias que presentan los distintos distritos en cuando a su situación acústica o niveles sonoros ambientales, y evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada. Así, a primera vista se aprecia cómo en la mayor parte del área comprendida dentro de la “almendra central” de Madrid (aproximadamente el interior de la M-30) los niveles sonoros son elevados, al predominar claramente las tonalidades rojizas, mientras que en las zonas más próximas a la periferia la tendencia es más hacia un equilibrio con las tonalidades azuladas.



Figura 7.5. Niveles acústicos de Madrid para el periodo de 24 horas.



Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Con el fin de caracterizar sintéticamente el ambiente sonoro intraurbano madrileño, se ha llevado a cabo un análisis estadístico descriptivo univariado (*vid.* apartado 6.5.2.), a partir de los niveles sonoros ( $L_{Aeq}$  24 horas) contenidos en la base de datos oficial del Ayuntamiento. Éstos han sido tomados como variable independiente (cuantitativa continua) en el estudio, es decir, como factor causante de algún efecto, en este caso la posible molestia a la población mediante la existencia de ruido.

Primeramente, para organizar la información, se ha realizado una representación gráfica en forma de histograma (figura 7.6.) con el objeto de resumir los datos y analizar la distribución de frecuencias de los mismos.

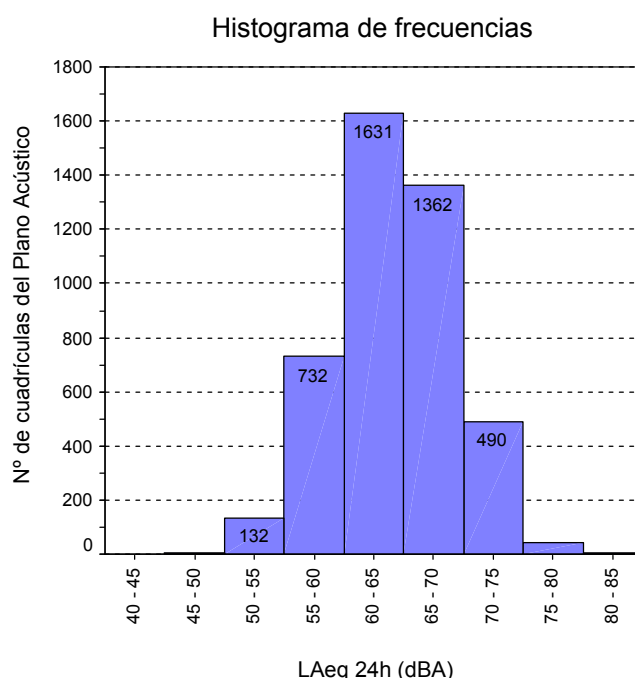


Figura 7.6. Distribución de frecuencias del  $L_{Aeq}$  24 horas del conjunto de Madrid.

*Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

Mediante esta representación gráfica se trata de analizar cómo es la distribución del total de cuadrículas (4.397) que integran el conjunto del Plano Acústico de Madrid atendiendo a sus niveles sonoros. Las barras del histograma presentan un área proporcional al número de cuadrículas cuyos niveles de  $L_{Aeq}$  24 horas se encuentran contenidos en su intervalo de clase correspondiente.

A la vista del histograma, se observa cómo una gran proporción de cuadrículas (1.631) que cubren el área urbana de Madrid presentan unos niveles de  $L_{Aeq}$  24 horas comprendidos entre 60 y 65 dBA, concretamente el 37 % de las cuadrículas del Plano, por lo que se constituye en intervalo modal. El rango de niveles sonoros inmediatamente superior, de 65 a 70 dBA, es el que alberga la segunda mayor cantidad de cuadrículas (1.362), representando el 31 % del total. Estos dos intervalos presentan una gran diferencia con

respecto a cualquiera de los demás, en cuanto a número de cuadrículas contenidas en cada uno de ellos.

A partir de los datos de  $L_{Aeq}$  24 horas también se han calculado los estadísticos (propiedades descriptivas de la distribución o muestra) recogidos en la tabla 7.1.

Distrito						Percentiles					Amplitud semi-intercuartil	Amplitud Total o rango
	Máximo	Mínimo	Moda	Mediana		P <sub>10</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub>		
	83	45	66	64		57	60	64	67	70	3,5	38
1. Centro	81	57	66	65		61	63	65	69	72	3	24
2. Arganzuela	76	57	66	67		61	64	67	70	71	3	19
3. Retiro	75	53	70	67		59	62,25	67	70	73	3,875	22
4. Salamanca	78	49	70	67		57,4	61,5	67	71	73,6	4,75	29
5. Chamartín	80	52	68	65		58	60,5	65	70	72	4,75	28
6. Tetuán	83	53	62	65		59	62	65	70	73	4	30
7. Chamberí	72	59	66	66		63	65	66	68	70	1,5	13
8. Fuencarral - El Pardo	76	50	62	62		54	58	62	65	68	3,5	26
9. Moncloa - Aravaca	77	45	61	62		55	58	62	66	70	4	32
10. Latina	74	51	62	62		57	59	62	66	68	3,5	23
11. Carabanchel	73	50	61	62		57	60	62	65	68	2,5	23
12. Usera	75	55	68	64		58	61	64	67	68,6	3	20
13. Pte. de Vallecas	76	52	65	62		57	60	62	65	67,4	2,5	24
14. Moratalaz	73	54	64	63		58	61	63	66	67	2,5	19
15. Ciudad Lineal	75	51	68	66		58	62	66	68	70	3	24
16. Hortaleza	74	50	60	62		57	59	62	64	67,2	2,5	24
17. Villaverde	71	53	63	62,5		57	59	62,5	66	68	3,5	18
18. Villa de Vallecas	70	53	66	66		59	61	66	67	68	3	17
19. Vicálvaro	72	56	61	61		57	59	61	63	68	2	16
20. San Blas	73	53	63	64		59	61	64	66	69	2,5	20
21. Barajas	71	47	65	63		56	59	63	65	67	3	24

Tabla 7.1. Estadísticos relativos al  $L_{Aeq}$  24 horas, expresados en dBA, por distritos y para el conjunto de Madrid.

*Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

Como puede observarse, la mayoría de los estadísticos calculados son de centralidad (o tendencia central). El motivo de su elección es a causa de la naturaleza logarítmica de la expresión matemática de los niveles de ruido, ante la que no es apropiado emplear índices como la media aritmética, varianza o desviación típica, por ejemplo.

El valor máximo y el valor mínimo (mayor y menor  $L_{Aeq}$  24 horas registrados, respectivamente) aportan información acerca de los extremos y, junto con la mediana, admiten una representación gráfica bastante ilustrativa de los rangos dentro de los cuales se encuentran los niveles sonoros de cada distrito (figura 7.7.).

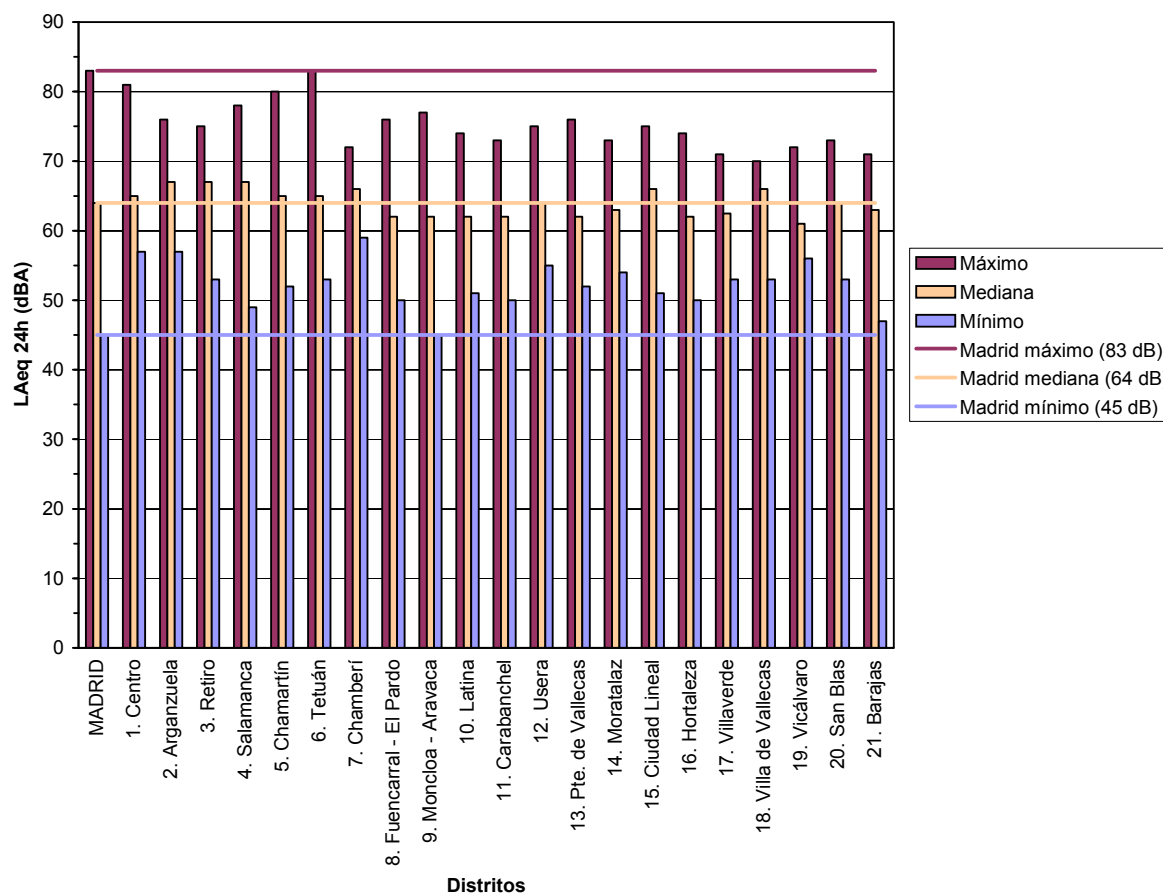


Figura 7.7. Representación de los niveles sonoros máximos, mínimos y la mediana del  $L_{Aeq}$  24 horas, por distritos del municipio de Madrid.

*Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

En cuanto a los máximos niveles sonoros registrados, éstos se dan en los distritos de Tetuán (83 dBA), Centro (81 dBA), Chamartín (80 dBA) y Salamanca (78 dBA), todos ubicados en la “almendra central”. Los mínimos de los máximos tienen lugar en Villa de Vallecas (70 dBA), Villaverde y Barajas (71 dBA). Los mínimos se registran en Moncloa-Aravaca (45 dBA), Barajas (47 dBA) y Salamanca (49 dBA). Y los máximos de los mínimos se dan en Chamberí (59 dBA), Centro y Arganzuela (57 dBA). Algunos casos concretos a comentar son: el máximo de Centro es el segundo mayor, a la vez que su mínimo también es el segundo mayor. Tetuán, a pesar de registrar el valor máximo, su mínimo no es el más elevado. Chamberí, aun teniendo un valor máximo de los más reducidos, presenta el mínimo más elevado. A la vista de este gráfico, las medianas no parecen presentar una gran variación entre unos distritos y otros, con pocos dBA de diferencia.

Estos ejemplos recién comentados ilustran la idea de que es necesario completar el análisis para conocer la variabilidad o variación de los datos dentro de cada distrito.

La moda es el valor del nivel sonoro de mayor frecuencia en cada distrito, es decir, el más repetido, pero para este estudio es un estadístico con menor interés que la mediana, pues aporta menos información sobre la distribución de los valores. Aún así, se ha optado por incluirla en la tabla 7.1.

Como se ha mencionado anteriormente, se ha preferido emplear la mediana en lugar de la media, porque ésta última queda muy afectada por los valores extremos o atípicos de la distribución, cosa que no le sucede a la mediana. Como nivel que divide a la distribución de registros sonoros ordenada, aporta junto con los distintos percentiles una noción de la posición relativa que ocupan los datos en la distribución de frecuencias, por medio de gráficas como los diagramas de caja como los de la figura 7.8. El motivo de emplear los percentiles es que suelen ser los estadísticos usados para resumir la información de conjuntos de datos con histogramas como el de la figura 7.6., que no se aproximan demasiado a la curva normal. (El  $L_{Aeq}$  24 horas correspondiente al percentil 25 indica que el 25 % de los elementos (cuadrículas) presenta un nivel sonoro igual o inferior, mientras que el 75 % restante tiene un nivel sonoro superior.

Los diagramas de caja muestran los datos de forma muy visual. En el caso de la figura 7.8., aparte de la posición y la asimetría, revela la variabilidad o variación de los datos sonoros de cada distrito. Aquellos distritos que se simbolizan con una caja más amplia son los que presentan una mayor amplitud entre los valores del 3.<sup>er</sup> y 1.<sup>er</sup> cuartil (intervalo intercuartílico) cuyos datos se recogen en la tabla 7.1 y se representan en la figura 7.9.

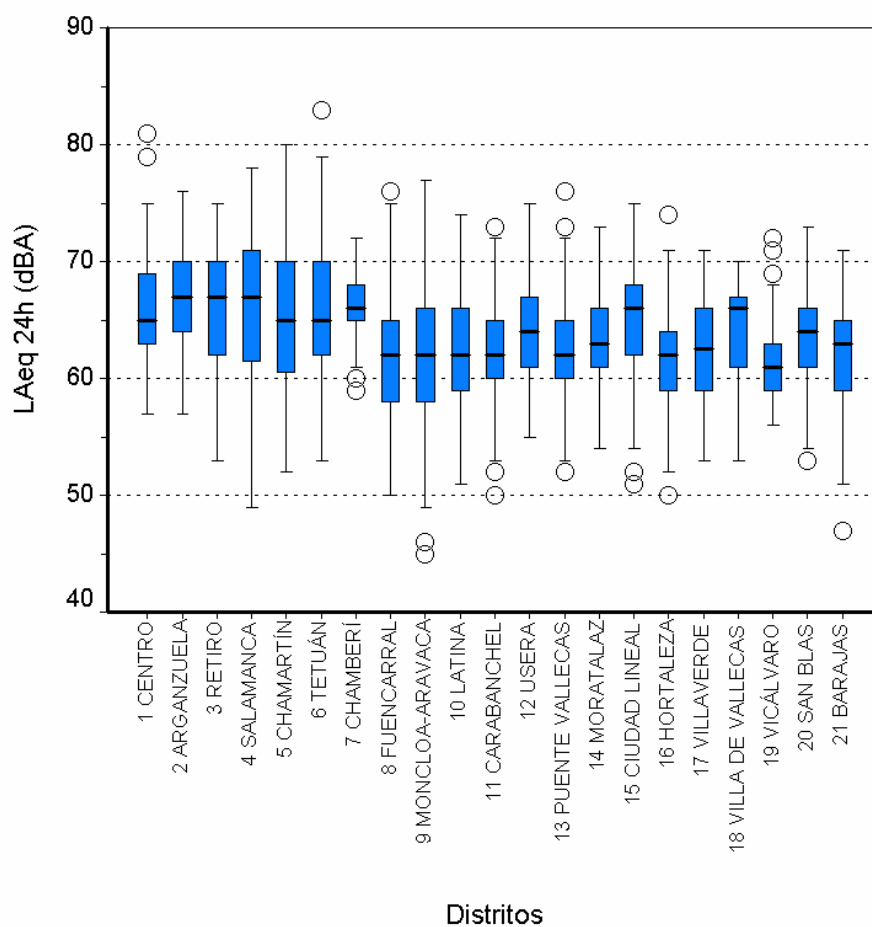


Figura 7.8. Diagramas de caja del  $L_{Aeq}$  24 horas por distritos del municipio de Madrid.

Los datos atípicos están representados individualmente.

*Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

Analizando en los diagramas de caja la posición relativa de la mediana respecto del 1.º y 3.º cuartil, los casos más desequilibrados son los de Villa de Vallecas y Ciudad Lineal (mediana más próxima al 3.º cuartil), frente a Centro y Chamberí (mediana más próxima al 1.º cuartil).

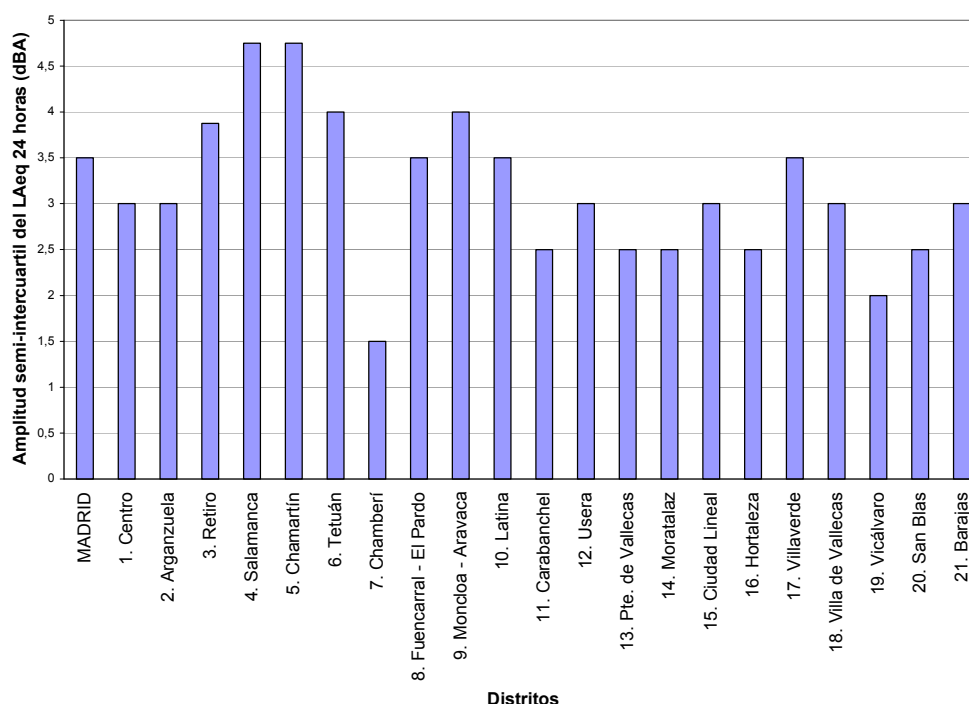


Figura 7.9. Representación de la amplitud semi-intercuartil del  $L_{Aeq}$  24 horas de los distritos del municipio de Madrid.

*Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

La amplitud observada en distritos como Salamanca (4,75 dBA), Chamartín (4,75 dBA), Moncloa-Aravaca (4 dBA), Tetuán (4 dBA) o Retiro (3,875 dBA) indica que poseen una mayor variabilidad de los datos, en contraposición con Chamberí (1,5 dBA) o Vicálvaro (2 dBA), cuyos valores intermedios son más homogéneos. Ello viene apoyado, en general, por los valores de la amplitud total o rango de cada distrito, a la vista de la tabla 7.1., aunque con alguna excepción, dado que ésta última es menos precisa al ser únicamente sensible a los valores extremos (máximo y mínimo) e insensible a los intermedios. Con la ayuda de la figura 7.5. se puede precisar un poco más, afirmando que:

- El distrito de Salamanca presenta un predominio de niveles bajos hacia el este, mientras que hacia el oeste, especialmente las zonas próximas al Pº. de Recoletos, se registran niveles elevados.
- Chamartín presenta una gran variabilidad desde los elevados niveles registrados en torno a la M-30 o el Pº. de la Castellana, hasta los reducidos de la Colonia Los Cármes, el barrio de El Viso o el Parque de Berlín.

- Moncloa-Aravaca muestra una clara diferencia entre los dos bloques de cuadrículas ubicadas en su territorio. La zona oeste, más próxima a la carretera N-VI presenta unos niveles bajos, mientras que los del bloque de cuadrículas situado más al este y separado del anterior (se estima una distancia de separación entre ambos de unos 3.000 m), muy próximo a los distritos de Chamberí y Centro, son mucho más elevados, excepto en la Colonia Puerta de Hierro.
- Tetuán se caracteriza por poseer toda una serie de cuadrículas con niveles muy elevados al sur del distrito (a lo largo de la Calle de Raimundo Fdez. Villaverde y en la zona del Pº. de la Castellana), en contraste con los niveles bajos repartidos por el resto de su superficie.
- Por el contrario a los anteriores, los niveles de ruido de Chamberí son muy homogéneos a lo largo de toda la superficie del distrito, aunque moderadamente elevados.
- El caso de Vicálvaro es otro ejemplo de homogeneidad en los registros, aunque los valores predominantes son, a diferencia de Chamberí, moderadamente bajos, tendiendo a ascender en la zona noroeste.

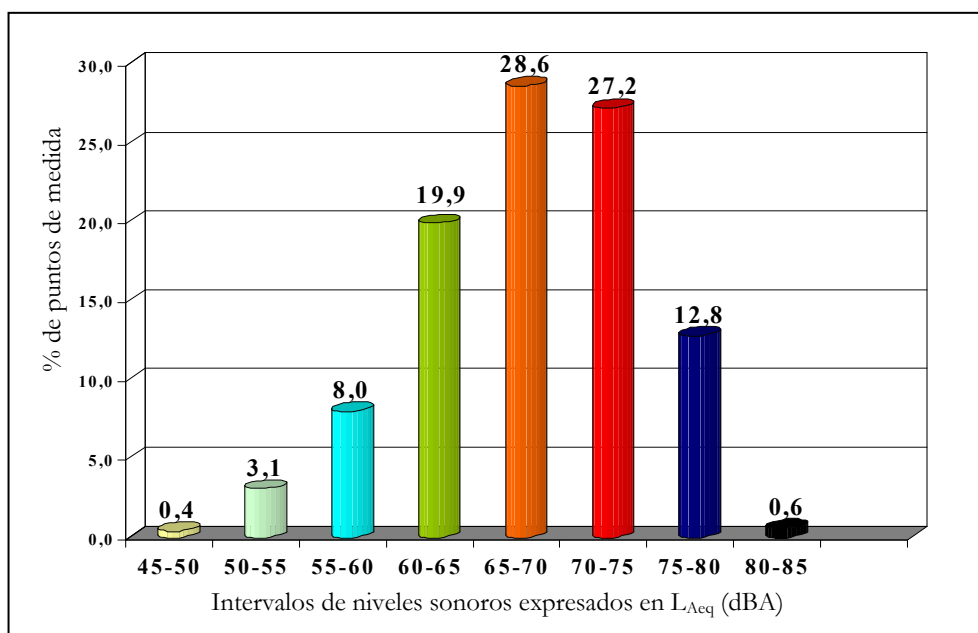
En resumen, los resultados parecen apuntar a que Vicálvaro es uno de los distritos con unos niveles de ruido ambiental más soportables, pues sus niveles sonoros son de los más bajos, su mediana es la menor y presentan una escasa variabilidad. Sin embargo, por otra parte es importante observar que se trata de uno de los distritos con menor número de cuadrículas (81), hecho que podría influir en la representatividad de este resultado.

Por el contrario, Centro, Arganzuela, Retiro, Salamanca, Chamartín, Tetuán y Chamberí, es decir, el conjunto de la “almendra central” de Madrid, se desmarcan como los distritos más ruidosos, es decir, con unos niveles sonoros más elevados respecto al resto de Madrid. Su mediana supera la del total de Madrid, si bien presentan una mayor variabilidad de los datos.

### **7.3.1. Comparación con los resultados del 1.º Plano Acústico de Madrid de 1986**

Los resultados obtenidos del 1.º Plano Acústico de la ciudad de Madrid, realizado en 1986 de acuerdo a las especificaciones ya comentadas en el apartado 7.3.2., presentaban la distribución que se recoge en la figura 7.10., la cual revela que el 75,7 % de los puntos de medida registraron niveles medio-altos, entre 60 - 75 dBA.

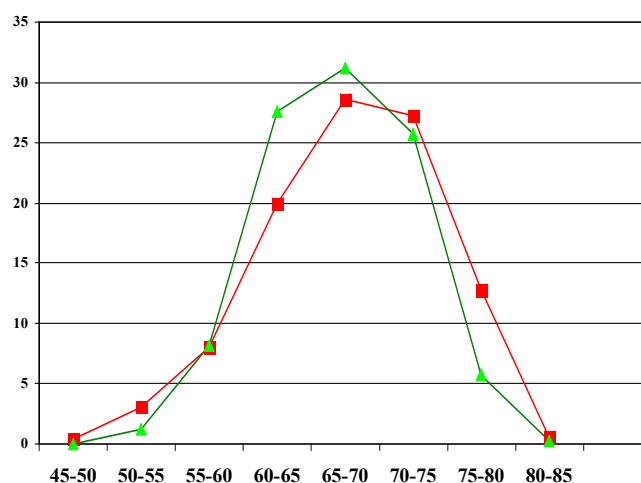




*Figura 7.10. Distribución de los niveles sonoros recogidos en el 1.º Plano Acústico de la ciudad de Madrid, de 1986.*  
Fte.: Ayto. de Madrid, 2002.

Para ver la evolución de los niveles sonoros ambientales a lo largo del tiempo, comparando los resultados obtenidos en el Plano Acústico del año 1986 y los de 2002, es necesario en éste último, a partir de sus datos, calcular los valores correspondientes a las mismas horas (de 10 a 17 h) y los mismos puntos que se designaron en el de 1986 (zona interior de la M-30). Una gráfica comparativa de dicha evolución es la que se muestra en la figura 7.11, cuyos datos están recogidos en la tabla 7.2. A la vista de estos datos, según el Ayto. de Madrid, desde el año 1986 hasta 2002 los niveles sonoros ambientales de Madrid evolucionaron del siguiente modo:

- Niveles altos: se redujo un 5,5 % el número de puntos de medición (cuadrículas) con niveles de  $L_{Aeq}$  comprendidos entre 70 - 75 dBA, un 55,5 % los de niveles entre 75 - 80 dBA y un 50 % los de niveles entre 80 - 85 dBA. Niveles medios: aumentó un 2,5 % el número de puntos con niveles de  $L_{Aeq}$  entre 55 - 60 dBA, un 38,2 % los de niveles entre 60 - 65 dBA y un 9,1 % los de niveles entre 65 - 70 dBA. Niveles tranquilos: se redujo un 0,4 % el número de puntos con niveles de  $L_{Aeq}$  entre 45 - 50 dBA y un 61,3 % los de niveles entre 50 - 55 dBA. En síntesis, bajaron los niveles sonoros altos y bajos, mientras que subieron los niveles medios, especialmente en el intervalo de 60 - 70 dBA.



*Figura 7.11. Gráfica comparativa de la evolución de los niveles sonoros entre el Plano Acústico del año 1986 y el de 2002.*

Fte.: Ayto. de Madrid, 2002.

% de puntos mapa 1986	intervalos en dBA	% de puntos mapa 2002
0,4	45-50	0
3,1	50-55	1,2
8	55-60	8,2
19,9	60-65	27,5
28,6	65-70	31,2
27,21	70-75	25,7
12,8	75-80	5,7
0,6	80-85	0,3

*Tabla 7.2. Datos del análisis comparativo de la evolución de los niveles sonoros entre el Plano Acústico del año 1986 y el de 2002.*

Fte.: Ayto. de Madrid, 2002.

#### 7.4. LOS NIVELES ACÚSTICOS DE MADRID DURANTE EL PERIODO DIURNO

El plano de la figura 7.12 muestra una imagen de la realidad del ambiente acústico diurno del municipio de Madrid. En esta ocasión, el indicador o índice acústico cuyos valores existentes se presentan es el  $L_{Aeq}$  diurno proveniente de la base de datos oficial del Ayuntamiento, es decir, el nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A correspondiente al periodo diurno, expresado en decibelios (dBA).

Es importante reseñar que, según la normativa vigente en el momento de la realización del Plano Acústico de Madrid (*Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano - Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía*, del Ayto. de Madrid), se considera como periodo diurno el comprendido entre las 7 y las 23 horas (16 horas de duración)<sup>35</sup>.

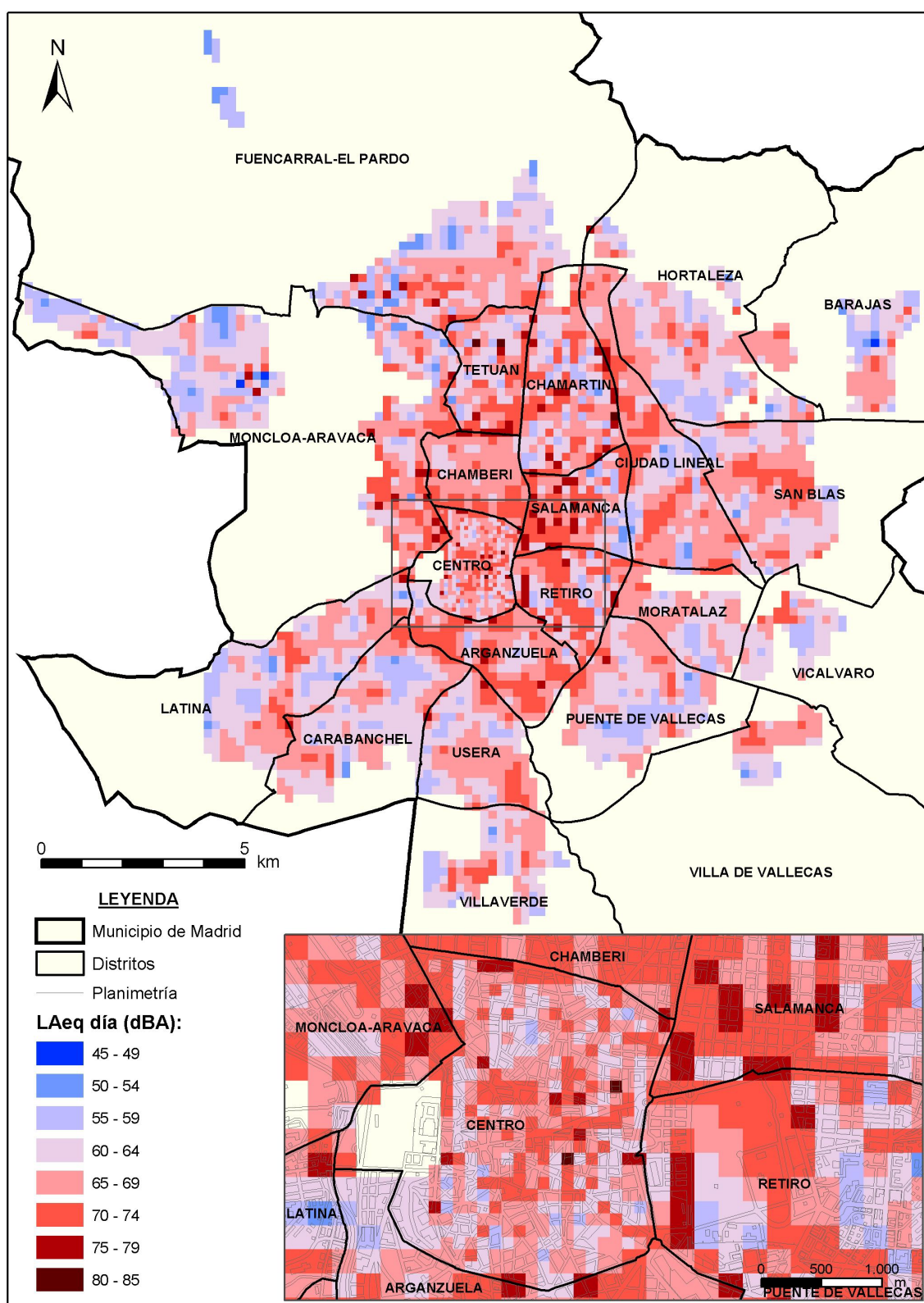
Al igual que en la figura 7.5, esta representación cartográfica resulta de la composición de la capa temática que contiene el Plano Acústico de Madrid y la capa de distritos, siendo éstos últimos la unidad espacial de análisis adoptada a efectos de comparación y valoración. Análogamente, para la representación de los datos del  $L_{Aeq}$  diurno se ha seleccionado un plano de coropletas, agrupándolos en 8 clases con una amplitud de 5 dBA cada una, y empleado una escala dicromática desde el azul (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (niveles más elevados). Como en el plano analizado anteriormente, se ha añadido la ampliación de una zona contenida en la “almendra central” de Madrid para visualizar mejor sus niveles sonoros, en especial los del distrito de Centro (con cuadrículas de dimensiones 100 m x 100 m), superponiendo además la planimetría como elemento de referencia añadido.

A través de un primer examen visual del ambiente acústico general de Madrid, en comparación con la situación comentada anteriormente, se aprecia de nuevo un predominio de las tonalidades rojizas, aunque más intensas, lo cual apunta a un registro de niveles sonoros mayores que los del periodo de 24 horas.

---

<sup>35</sup> El periodo temporal diurno de medición de los niveles sonoros ambientales, según la Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano - Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía, del Ayto. de Madrid, vigente en el momento de la realización del Plano Acústico de Madrid de 2002, es el comprendido entre las 7 y las 23 horas.

Figura 7.12. Niveles acústicos de Madrid para el periodo diurno.



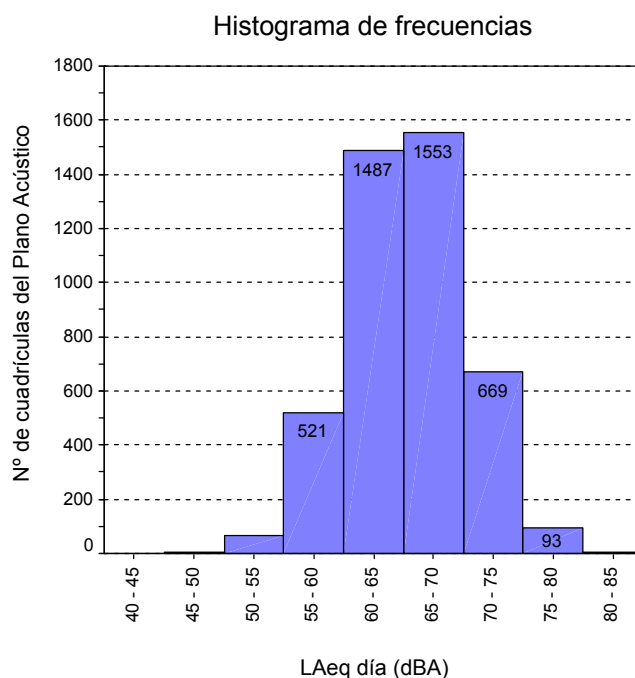
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Analizando visualmente las diferencias que presentan los distintos distritos en cuanto a sus niveles sonoros ambientales, se podría caracterizar globalmente la situación de la siguiente manera. De nuevo, la mayor parte del área comprendida dentro de la "almendra central" de Madrid presenta los niveles sonoros más elevados (con una dominancia de las tonalidades rojizas), disminuyendo éstos según aumenta la proximidad a las zonas periféricas (tendencia más hacia un equilibrio con las tonalidades azuladas). En este sentido, la distribución espacial general es similar a la mostrada en la figura 7.5. de  $L_{Aeq}$  24 horas, aunque con mayores niveles sonoros.

Según la Administración Municipal, la fuente de ruido dominante a lo largo del periodo diurno es el tráfico rodado, especialmente en los días laborables.

Al igual que para el caso del periodo de 24 horas, se ha llevado a cabo un análisis estadístico a partir de los niveles sonoros ( $L_{Aeq}$  diurno) contenidos en la base de datos oficial del Ayuntamiento.

Con el objeto de resumir los datos y analizar la distribución de frecuencias de los mismos, se ha realizado una representación gráfica en forma de histograma (figura 7.13).



*Figura 7.13. Distribución de frecuencias del  $L_{Aeq}$  diurno del conjunto de Madrid.*  
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

En el histograma, al igual que sucede en el caso del  $L_{Aeq}$  24 horas, las clases de 60-65 dBA y de 65-70 dBA son las que aglutinan con clara dominancia un mayor número de cuadrículas del Plano, representando un 34 % (1.487 cuadrículas) y un 35 % (1.553 cuadrículas) respectivamente, estando casi equilibradas ambas.

Los rangos de niveles sonoros inmediatamente inferior y superior a ambos también se encuentran bastante equilibrados, y de nuevo presentan una gran diferencia con respecto a los extremos, en cuanto a número de cuadrículas contenidas en cada uno. Ello apunta a que la distribución se asemeja más a la normalidad que la del  $L_{Aeq}$  24 horas, además de que los niveles sonoros generales son más elevados.

Sin embargo es muy importante destacar que en este caso ha disminuido el área de todas las clases con menor nivel sonoro de 65 dBA, mientras que han aumentado las que superan dicho nivel. Parece que el significado se traduce en que los niveles sonoros del  $L_{Aeq}$  diurno, aún correspondiendo a un periodo bastante largo (16 horas), al no considerar los datos relativos al periodo nocturno (cosa que sí hace el  $L_{Aeq}$  24 horas), son más elevados. Visualmente se puede comprobar en la figura 7.12., en el que hay una clara predominancia de las tonalidades rojizas frente a las azuladas.

A partir de los datos de  $L_{Aeq}$  diurno se han calculado los estadísticos que se recogen en la tabla 7.3.

En relación con los extremos, el **valor máximo** y el **valor mínimo** (mayor y menor  $L_{Aeq}$  diurno registrados) indican los rangos dentro de los cuales se encuentran los niveles sonoros de cada distrito (figura 7.14).

En cuanto a los máximos niveles sonoros registrados, éstos se dan en los distritos de Tetuán (85 dBA), Centro (83 dBA), Chamartín (81 dBA) y Salamanca (78 dBA), todos ubicados en la “almendra central”. Los mínimos de los máximos tienen lugar en Villa de Vallecas (71 dBA), Villaverde y Barajas (72 dBA). Los mínimos se registran en Moncloa-Aravaca (47 dBA), seguido por Barajas (49 dBA) y Salamanca (50 dBA). Y los máximos de los mínimos se dan en Chamberí (60 dBA), Centro y Vicálvaro (57 dBA) y Arganzuela (58 dBA). Algunos casos concretos a comentar son: el máximo de Centro es el segundo mayor, a la vez que su mínimo también es el segundo mayor. Tetuán, a pesar de registrar el valor máximo, su mínimo no es el más elevado. Chamberí, aun teniendo un valor máximo de los más reducidos, presenta el mínimo más elevado. Todo ello apunta hacia un patrón parecido al del  $L_{Aeq}$  24 horas, anteriormente comentado. A la vista de este gráfico, las medianas tampoco parecen presentar una gran variación entre unos distritos y otros, con pocos dBA de diferencia.

Distrito	Máximo	Mínimo	Moda	Mediana	Percentiles					Amplitud semi- intercuartil	Amplitud Total o rango
					P <sub>10</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub>		
	85	47	67	65	59	62	65	68	71	3	38
1. Centro	83	57	67	67	62	64	67	70	73	3	26
2. Arganzuela	77	58	68	68	62,7	65	68	71	72,3	3	19
3. Retiro	76	54	70	68	61	64	68	71	74	3,5	22
4. Salamanca	79	50	71	68	59	63	68	72	75	4,5	29
5. Chamartín	81	53	69	67	59	62	67	71	73	4,5	28
6. Tetuán	85	54	63	67	60	63	67	71	74	4	31
7. Chamberí	73	60	67	68	64	67	68	69	71	1	13
8. Fuencarral - El Pardo	77	51	64	63,5	56	60	63,5	66	69	3	26
9. Moncloa - Aravaca	78	47	60	63	57	60	63	67	71	3,5	31
10. Latina	75	53	64	64	58	60	64	67	69	3,5	22
11. Carabanchel	74	51	61	63	59	61	63	67	69	3	23
12. Usera	76	56	69	65	59,4	62	65	68	70	3	20
13. Pte. de Vallecas	77	53	66	64	58	61	64	66	69	2,5	24
14. Moratalaz	75	55	65	64	59,6	62	64	67	68	2,5	20
15. Ciudad Lineal	76	52	67	67	59,2	63	67	69	71	3	24
16. Hortaleza	75	51	61	63	58	61	63	66	69	2,5	24
17. Villaverde	72	54	62	63,5	58,9	60,75	63,5	67	69	3,125	18
18. Villa de Vallecas	71	54	69	66	60	63	66	68,75	69	2,875	17
19. Vicálvaro	73	57	60	62	58	60	62	65	69	2,5	16
20. San Blas	74	54	64	65	60	62	65	67	70	2,5	20
21. Barajas	72	49	66	64	58	60	64	67	69	3,5	23

*Tabla 7.3. Estadísticos relativos al  $L_{Aeq}$  diurno, expresados en dBA, por distritos y para el conjunto de Madrid.*

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Se completa el análisis mediante un diagrama de caja (figura 7.15.), para conocer la variabilidad o variación de los datos dentro de cada distrito.

Con la ayuda de la figura 7.16., que muestra la amplitud semi-intercuartil del  $L_{Aeq}$  diurno de cada distrito, se observa que aquellos distritos con una mayor amplitud entre los valores del 3.<sup>er</sup> y 1.<sup>er</sup> cuartil, es decir, cuya caja es mayor, son los que presentan una mayor variabilidad en los niveles sonoros durante el periodo diurno, de 7 a 23 horas. Este es el caso de Salamanca (4,5 dBA), Chamartín (4,5 dBA) y Tetuán (4 dBA), en contraposición con Chamberí (1 dBA), el cual destaca con claridad por su homogeneidad. Ello viene apoyado, aunque no de manera muy estricta, por los valores de la **amplitud total o rango** de cada distrito, a la vista de la tabla 7.3. (conviene recordar que este estadístico es menos preciso al ser únicamente sensible a los valores extremos -máximo y mínimo- e insensible a los intermedios). Aun así, las amplitudes intercuartílicas presentan alguna menor variación entre unos distritos y otros que en el caso del  $L_{Aeq}$  24 horas, manteniéndose la mayoría entre 2,5 y 3 dBA.

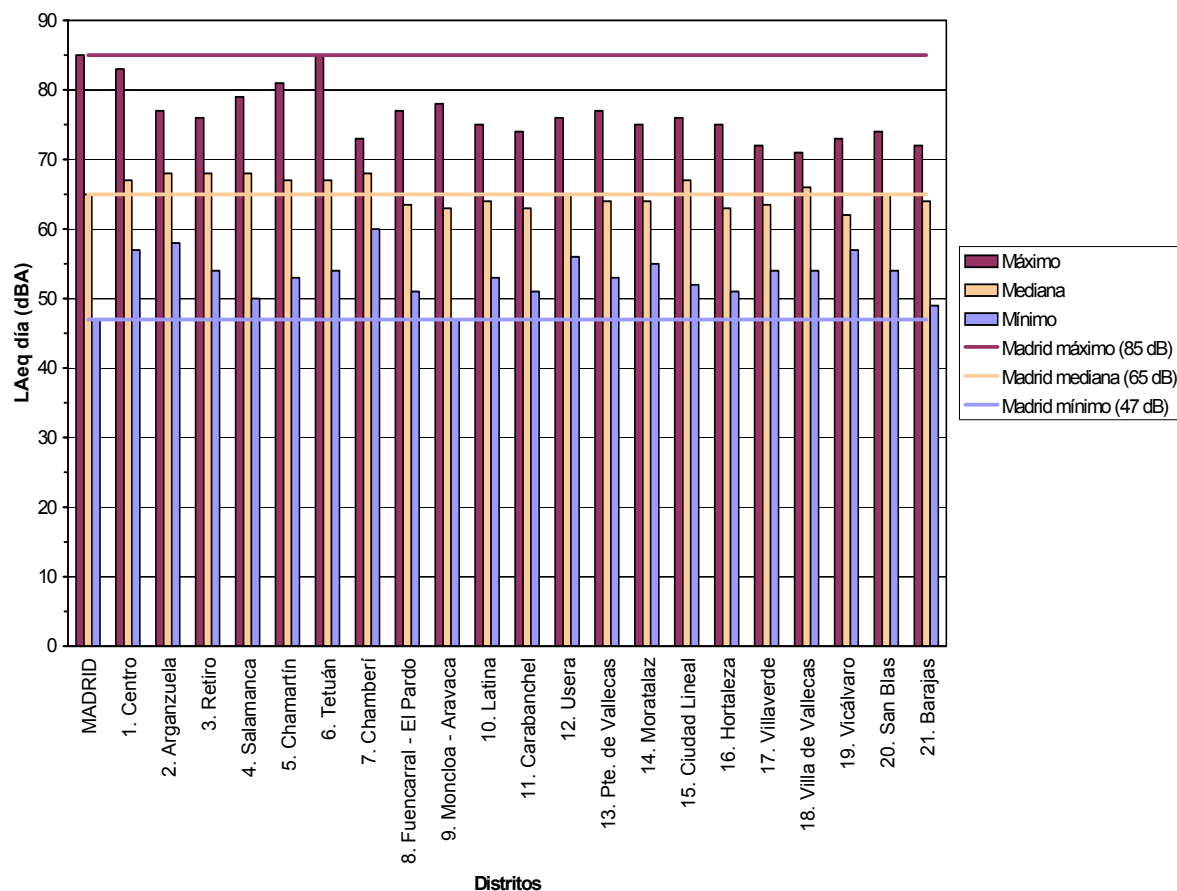


Figura 7.14. Representación de los niveles sonoros máximos, mínimos y la mediana del  $L_{Aeq}$  diurno, por distritos del municipio de Madrid.

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

El análisis de la distribución espacial de los niveles sonoros dentro de los mencionados distritos destacados es bastante similar al realizado anteriormente para el caso del  $L_{Aeq}$  24 horas (las cajas se distribuyen aproximadamente de la misma manera), salvo por un aumento generalizado de los niveles (todos los 1<sup>os</sup> cuartiles superan los 60 dBA), incluido en el distrito de Chamberí, en el que la mediana pasa de un  $L_{Aeq}$  24 horas de 66 dBA a un  $L_{Aeq}$  diurno de 68 dBA, y el 50 % de sus valores presentan una variación de tan solo 1 dBA, como se acaba de ver. También destaca Vicálvaro, con la mediana más baja.

Analizando en los diagramas de caja la posición relativa de la mediana respecto del 1.<sup>er</sup> y 3.<sup>er</sup> cuartil, se observa que en la mayoría de los casos ésta se sitúa hacia la mitad del intervalo intercuartílico, indicando una cierta regularidad y simetría en la variabilidad de los datos dentro de cada distrito.



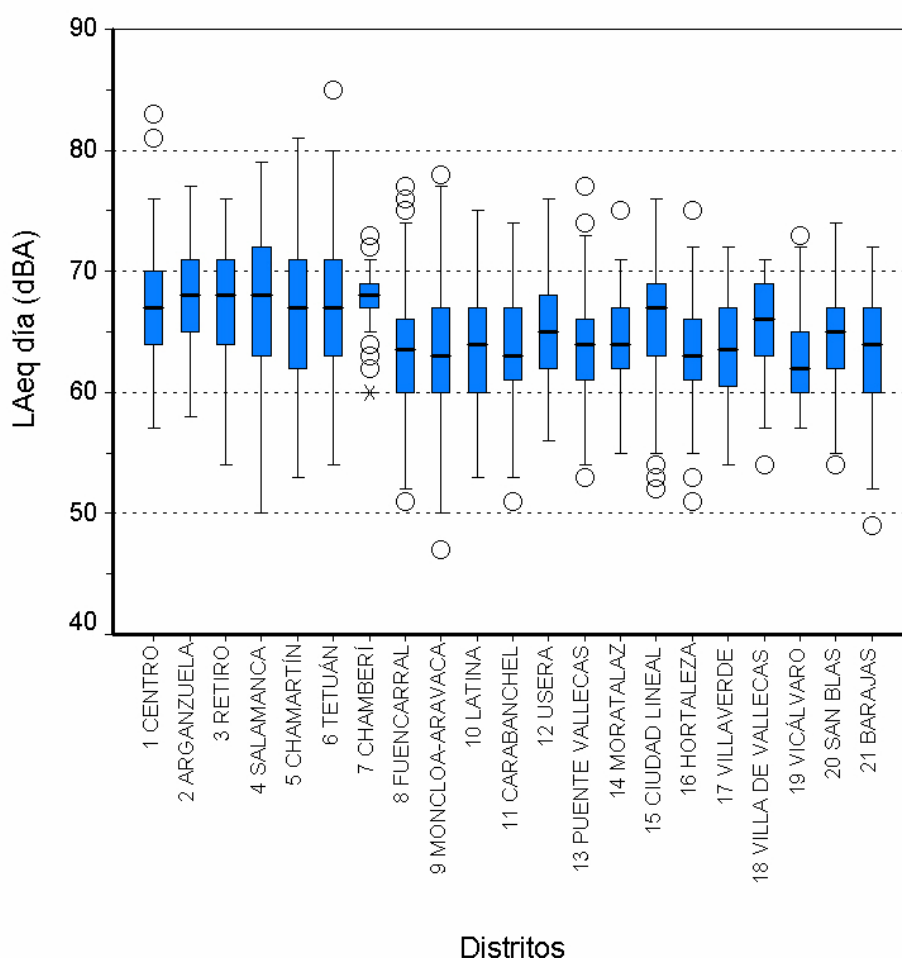
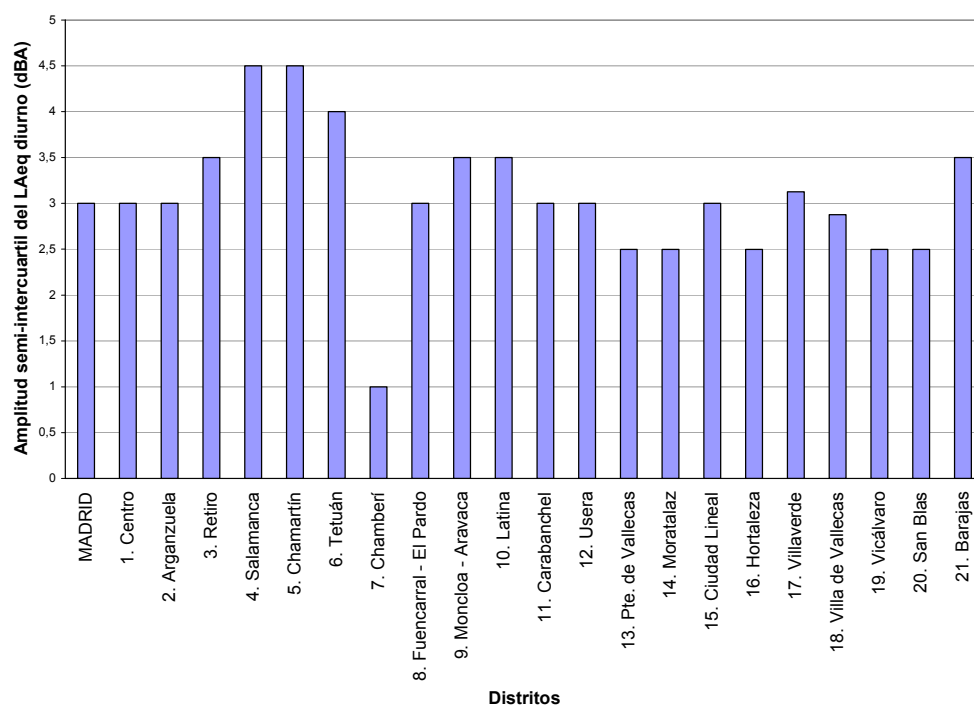


Figura 7.15. Diagramas de caja del  $L_{Aeq}$  diurno por distritos del municipio de Madrid.  
Los datos atípicos están representados individualmente.  
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

En resumen, los resultados parecen apuntar nuevamente a que Vicálvaro es uno de los distritos con unos niveles de ruido ambiental diurnos más soportables, pues sus niveles sonoros son de los más bajos y su mediana es la menor. Sin embargo, hay que recordar que se trata de uno de los distritos con menor número de cuadrículas (81). Con bastante seguridad, le siguen Hortaleza y Moncloa-Aravaca o Fuencarral-El Pardo.

Por el contrario, Chamberí, Arganzuela, Retiro y Salamanca, de nuevo todos ellos correspondientes a la “almendra central” de Madrid, se desmarcan como los distritos más ruidosos, es decir, con unos niveles sonoros más elevados respecto al resto de Madrid. Su mediana supera la del total de Madrid y, en general, presentan una mayor variabilidad de los datos.



*Figura 7.16. Representación de la amplitud semi-intercuartil del  $L_{Aeq}$  diurno de los distritos del municipio de Madrid.*

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

## 7.5. LOS NIVELES ACÚSTICOS DE MADRID DURANTE EL PERIODO NOCTURNO

La figura 7.17. muestra una imagen de la realidad del ambiente acústico nocturno del municipio de Madrid (dicha figura se representa justo a continuación de la 7.12, del periodo diurno, para poder establecer fácilmente una comparativa visual entre ambas). El índice acústico cuyos valores se presentan ahora es el  $L_{Aeq}$  nocturno proveniente de la base de datos oficial del Ayuntamiento, es decir, el nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A correspondiente al periodo nocturno, expresado en decibelios (dBA).

La realización de este análisis viene justificado, en parte, por la *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*, según la cual el “L night” constituye un indicador común a todos los Estados miembros, para evaluar las alteraciones del sueño.

Según la normativa vigente en el momento de realización del Plano Acústico de Madrid (*Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano - Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía*, del Ayto. de

Madrid), se considera como periodo nocturno el comprendido entre las 23 y las 7 horas (8 horas de duración)<sup>36</sup>.

Al igual que en los planos de las figuras 7.5. y 7.12., esta representación cartográfica resulta de la composición de la capa temática que contiene el Plano Acústico de Madrid y la capa de distritos (unidad espacial de análisis). Análogamente, se ha seleccionado un plano de coropletas, con 8 clases de amplitud 5 dBA cada una, y empleado una escala dicromática desde el azul (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (niveles más elevados). Como en dichos planos analizados anteriormente, se ha añadido la ampliación de una zona contenida en la “almendra central” de Madrid para visualizar mejor sus niveles sonoros, en especial los del distrito de Centro (con cuadrículas de dimensiones 100 m x 100 m), superponiendo además la planimetría como elemento de referencia añadido.

Un primer examen visual del ambiente acústico general de Madrid, en comparación con las dos situaciones comentadas anteriormente, revela un claro predominio de las tonalidades azuladas, lo cual apunta a un registro de niveles sonoros menores que los del periodo de 24 horas y diurno.

Analizando visualmente las diferencias que presentan los distintos distritos en cuanto a sus niveles sonoros ambientales, la evaluación global de la situación es similar a los casos anteriores. La mayor parte del área comprendida dentro de la “almendra central” de Madrid muestra de nuevo los niveles sonoros más elevados (aunque las tonalidades rojizas y azules están muy equilibradas), con una clara predominancia de las tonalidades azuladas al aproximarse a las zonas periféricas. En este sentido, el patrón espacial general es bastante similar al mostrado en las figuras 7.5. de  $L_{Aeq}$  24 horas y 7.12. de  $L_{Aeq}$  diurno, aunque con menores niveles sonoros.

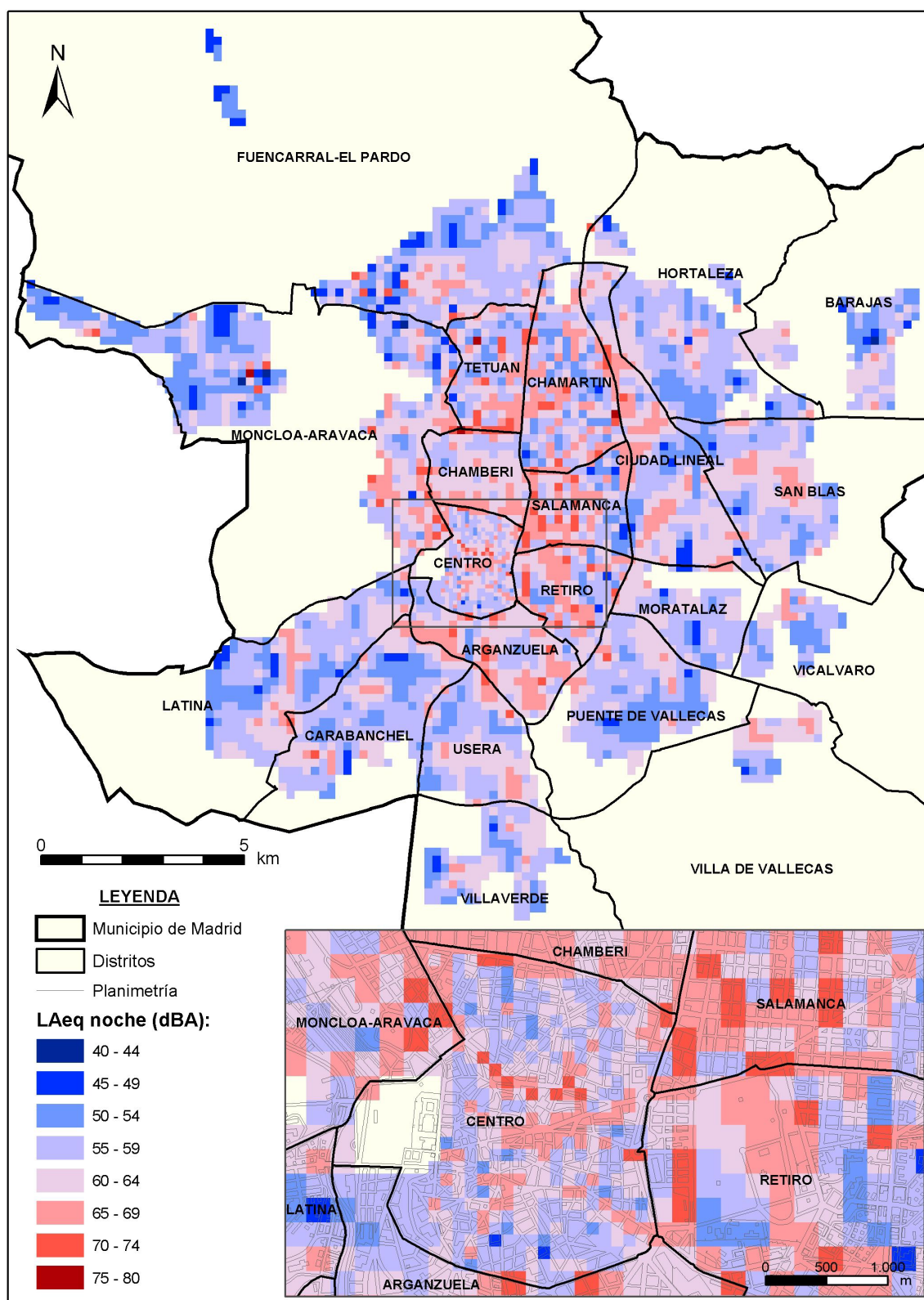
Según la Administración Municipal, la fuente de ruido dominante a lo largo del periodo nocturno en los días laborables es el tráfico rodado, y en fines de semana (viernes y sábados) es de nuevo el tráfico, junto con las actividades de pública concurrencia, de ocio y funcionamiento nocturno.

Al igual que en los casos anteriores, se ha llevado a cabo un análisis estadístico a partir de los niveles sonoros ( $L_{Aeq}$  nocturno) contenidos en la base de datos oficial del Ayuntamiento.

---

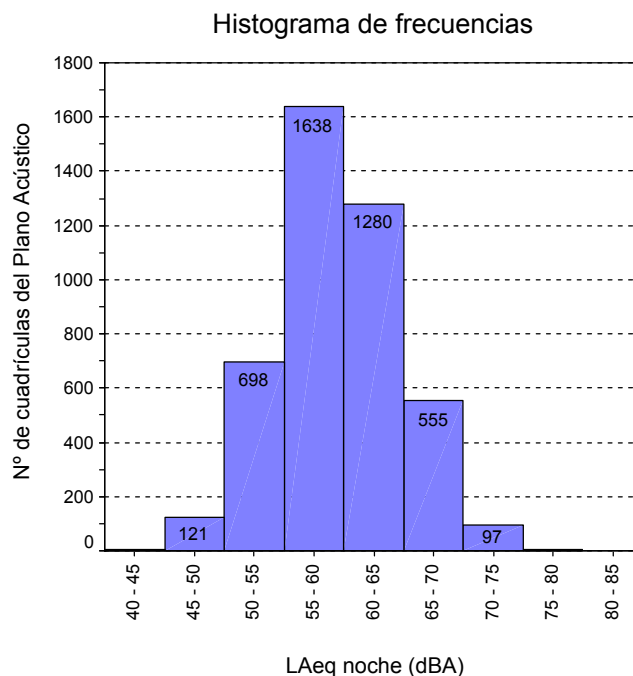
<sup>36</sup> El periodo temporal nocturno de medición de los niveles sonoros ambientales, según la *Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano - Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía*, del Ayto. de Madrid, vigente en el momento de la realización del Plano Acústico de Madrid de 2002, es el comprendido entre las 23 y las 7 horas.

Figura 7.17. Niveles acústicos de Madrid para el periodo nocturno.



Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

El histograma que resume los datos y presenta la distribución de frecuencias de los mismos, es el de la figura 7.18.



*Figura 7.18. Distribución de frecuencias del  $L_{Aeq}$  nocturno del conjunto de Madrid.*  
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

En el histograma, el área mayor es el de la barra del intervalo de clase correspondiente al nivel de  $L_{Aeq}$  nocturno comprendido entre 55 y 60 dBA y, por tanto, es el que contiene una mayor proporción de cuadrículas (1.638, representando el 37 % del total). El rango de niveles sonoros inmediatamente superior, de 60 a 65 dBA, es el que alberga la segunda mayor cantidad de cuadrículas (1.260), representando el 29 % del total. Estos dos intervalos presentan una gran diferencia con respecto a cualquiera de los demás, en cuanto a número de cuadrículas contenidas. Los rangos de niveles sonoros inmediatamente inferior y superior a ambos también se encuentran bastante equilibrados, y de nuevo presentan una gran diferencia con respecto a los extremos.

La distribución se asemeja menos a la normalidad que la del  $L_{Aeq}$  diurno, y hay que decir que es prácticamente igual a la del  $L_{Aeq}$  24 horas, aunque desplazada a la izquierda un intervalo, indicador de que los niveles sonoros generales son más reducidos, cosa que visualmente se puede comprobar en la figura 7.17., en el que hay una clara predominancia de las tonalidades azuladas frente a las rojizas. En ello influye que el periodo de medición considerado es tan solo las 8 horas de la noche

A partir de los datos de  $L_{Aeq}$  nocturno se han calculado los estadísticos que se recogen en la tabla 7.4.

En relación con los extremos, los **valores máximo y mínimo** (mayor y menor  $L_{Aeq}$  nocturno registrados) aportan una idea de los rangos dentro de los cuales se encuentran los niveles sonoros de cada distrito (figura 7.19.).

Los máximos niveles sonoros registrados se dan en los distritos de Tetuán (79 dBA), Chamartín (76 dBA), Moncloa-Aravaca (75 dBA), Salamanca (74 dBA) y Fuencarral-El Pardo (73 dBA). Los mínimos de los máximos tienen lugar en Villaverde (66 dBA), Chamberí, Villa de Vallecas y Barajas (68 dBA). Los mínimos se registran en Moncloa-Aravaca (41 dBA), Barajas (43 dBA), Salamanca, Fuencarral-El Pardo, Carabanchel, Ciudad Lineal y Hortaleza (45 dBA). Y los máximos de los mínimos se dan en Chamberí (54 dBA), Arganzuela (52 dBA) y Vicálvaro (51 dBA). Existen una serie de distritos cuyos máximos son de los más altos, a la vez que sus mínimos son de los más bajos, como Moncloa-Aravaca, Salamanca, Fuencarral-El Pardo o Ciudad lineal. Por otra parte, Chamberí, aun teniendo uno de los menores valores máximos, presenta el mínimo más elevado, tendencia similar a la registrada en el caso del  $L_{Aeq}$  24 horas y diurno. A la vista de este gráfico, las medianas tampoco parecen presentar una gran variación entre unos distritos y otros, con pocos dBA de diferencia.

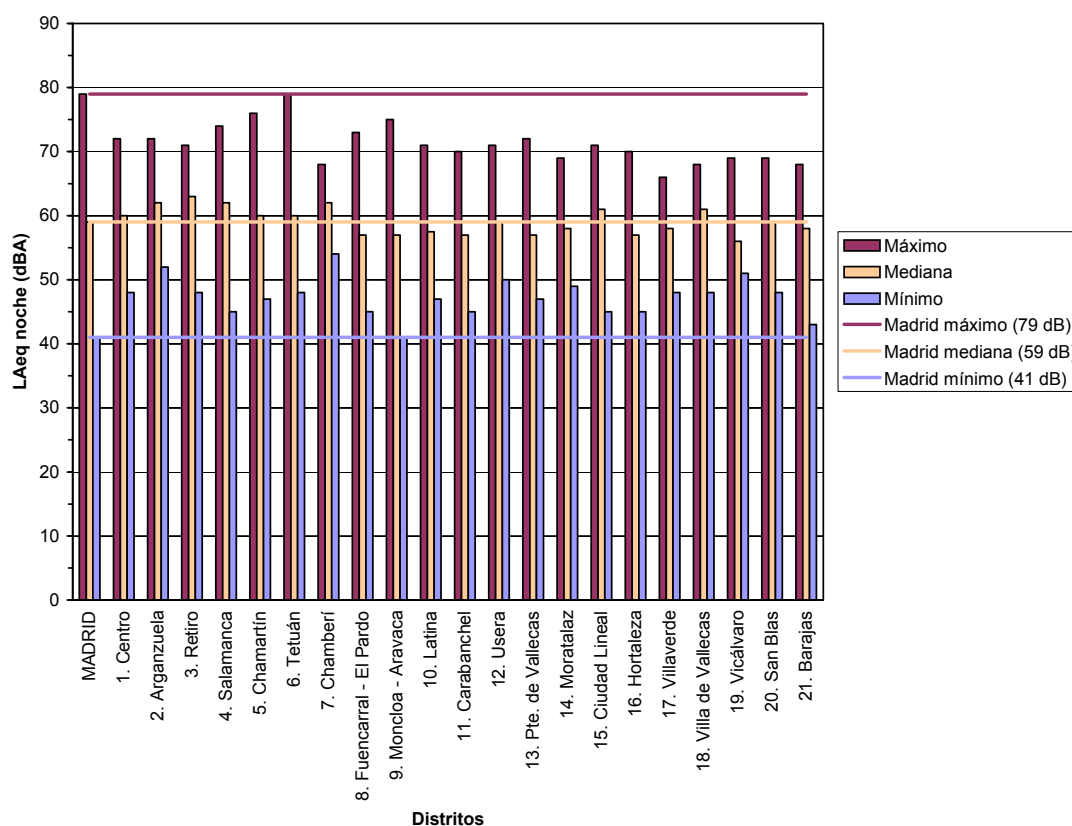
Distrito	Máximo	Mínimo	Moda	Mediana	Percentiles					Amplitud semi-intercuartil	Amplitud Total o rango
					P <sub>10</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub>		
	79	41	57	59	52	55	59	62	66	3,5	38
1. Centro	72	48	60	60	56	58	60	64	67	3	24
2. Arganzuela	72	52	62	62	56	59	62	65	67	3	20
3. Retiro	71	48	64	63	55	58	63	66	69	4	23
4. Salamanca	74	45	67	62	52,4	57	62	67	69,6	5	29
5. Chamartín	76	47	67	60	53	55,5	60	66	69	5,25	29
6. Tetuán	79	48	57	60	54	57	60	66	70	4,5	31
7. Chamberí	68	54	62	62	58	60	62	64	66	2	14
8. Fuencarral - El Pardo	73	45	58	57	50	54	57	60	63	3	28
9. Moncloa - Aravaca	75	41	56	57	51	54	57	61	66	3,5	34
10. Latina	71	47	57	57,5	52	55	57,5	60	63	2,5	24
11. Carabanchel	70	45	56	57	52,6	55	57	61	63	3	25
12. Usera	71	50	62	59	53,4	56	59	62	64	3	21
13. Pte. de Vallecas	72	47	57	57	52	54	57	60	63	3	25
14. Moratalaz	69	49	56	58	53,6	56	58	60	62	2	20
15. Ciudad Lineal	71	45	63	61	53	57	61	64	66	3,5	26
16. Hortaleza	70	45	55	57	52	55	57	60	63	2,5	25
17. Villaverde	66	48	58	58	52,9	55	58	61	63	3	18
18. Villa de Vallecas	68	48	61	61	54	57	61	63	65	3	20
19. Vicálvaro	69	51	56	56	52	54	56	59	63	2,5	18
20. San Blas	69	48	59	59	54	56	59	62	64	3	21
21. Barajas	68	43	60	58	52	55	58	60	63	2,5	25

*Tabla 7.4. Estadísticos relativos al  $L_{Aeq}$  nocturno, expresados en dBA, por distritos y para el conjunto de Madrid.*

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Completando el análisis para conocer la variabilidad o variación de los datos dentro de cada distrito, mediante diagramas de caja (figura 7.20.), y con la ayuda de la figura 7.21., que muestra la amplitud semi-intercuartil del  $L_{Aeq}$  nocturno de cada distrito, se observa que aquellos distritos con una mayor amplitud entre los valores del 3.<sup>er</sup> y 1.<sup>er</sup> cuartil, es decir, cuya caja es mayor, son los que presentan una mayor variabilidad en los niveles sonoros durante el periodo nocturno, de 23 a 7 horas. Este es el caso de Chamartín (5,25 dBA), Salamanca (5 dBA), Tetuán (4,5 dBA) y Retiro (4 dBA), en contraposición con Chamberí (2 dBA, esta vez no es un caso tan extremo, como sucede con su  $L_{Aeq}$  diurno) y Moratalaz (2 dBA). A grandes rasgos, las amplitudes intercuartílicas presentan mayores variaciones entre unos distritos y otros que en los casos del  $L_{Aeq}$  24 horas y  $L_{Aeq}$  diurno. La figura 7.21. denota, como tendencia, que la amplitud semi-intercuartil está entre 2,5 y 3,5 dBA en la mayoría de los datos, si bien unos pocos exhiben mayor variabilidad ( $\geq 4$  dBA) o menor (2 dBA).

El análisis de la distribución espacial de los niveles sonoros dentro de los mencionados distritos destacados es bastante similar al realizado anteriormente para los casos del  $L_{Aeq}$  24 horas y  $L_{Aeq}$  diurno (las cajas se distribuyen aproximadamente de la misma manera), salvo por una disminución generalizada de los niveles: todos los 1.<sup>os</sup> cuartiles descienden de los 60 dBA (menos el distrito de Chamberí, cuyo 1.<sup>er</sup> cuartil tiene valor 60 dBA), e incluso también alguno de los 3.<sup>os</sup> cuartiles.

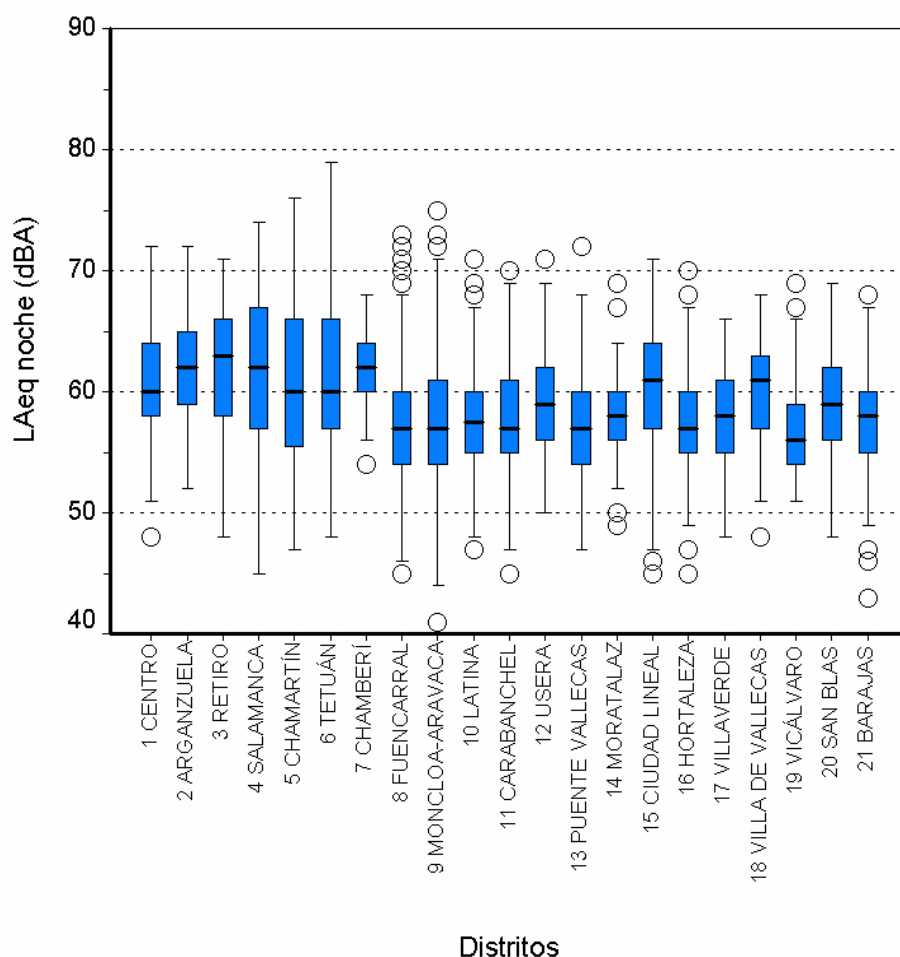


*Figura 7.19. Representación de los niveles sonoros máximos, mínimos y la mediana del  $L_{Aeq}$  nocturno, por distritos del municipio de Madrid.*

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

La distribución de las medianas es más irregular, habiendo más diferencias entre las de unos distritos y otros. Destacan Retiro, con la mediana más alta (63 dBA) y, nuevamente, Vicálvaro, con la mediana más baja (56 dBA).

Analizando en los diagramas la posición relativa de la mediana respecto del 1.<sup>er</sup> y 3.<sup>er</sup> cuartil, se constata que en la mayoría de los casos ésta se sitúa hacia la mitad del intervalo intercuartílico, indicando una cierta simetría en la distribución del 50 % central de los datos dentro de cada distrito. No obstante, también aflora un cierto número de distritos con una apariencia de asimetría positiva, lo que apunta a más heterogeneidad en los valores altos de ruido.



*Figura 7.20. Diagramas de caja del  $L_{Aeq}$  nocturno por distritos del municipio de Madrid. Los datos atípicos están representados individualmente.*

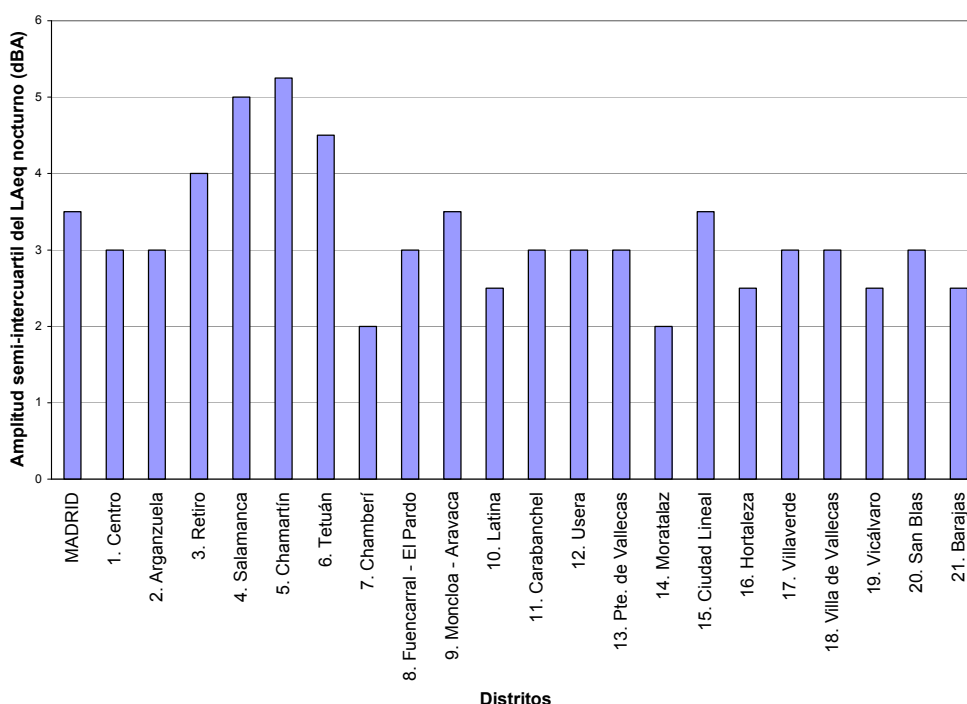
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

En resumen, estos resultados parecen indicar nuevamente que Vicálvaro es uno de los distritos con unos niveles de ruido ambiental nocturnos más soportables, pues sus niveles sonoros son de los más bajos y su mediana es la menor, al igual que sucede con el



$L_{Aeq}$  diurno. Le siguen Puente de Vallecas y Fuencarral-El Pardo, (ambos con mediana 57 dBA, 1.<sup>er</sup> cuartil 54 y 2.<sup>o</sup> cuartil 60).

Por el contrario, Retiro, Salamanca, Chamberí y Arganzuela, todos ellos correspondientes a la “almendra central” de Madrid, parecen ser los distritos con unos niveles sonoros nocturnos en conjunto más elevados respecto al resto de Madrid. Además, su mediana supera la del total de Madrid y, en general, presentan una mayor variabilidad de los datos.



*Figura 7.21. Representación de la amplitud semi-intercuartil del  $L_{Aeq}$  nocturno de los distritos del municipio de Madrid.*

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

## 7.6. ESTUDIO DE DETALLE DE LOS NIVELES ACÚSTICOS EN EL DISTRITO DE SALAMANCA Y ALREDEDORES

Ya se ha comentado cómo el Plano Acústico de Madrid permite evaluar globalmente la exposición al ruido en toda la zona de estudio, mostrando la distribución espacial y temporal de los niveles sonoros. En definitiva, es una plasmación gráfica del panorama que presenta el medio ambiente sonoro existente en la ciudad de Madrid.

Aunque el Plano Acústico en sí mismo no aporta información acerca de la caracterización de las fuentes emisoras de ruido, resulta una “capa temática” de información

que puede ser estudiada en interrelación con otras, del estilo del callejero de Madrid, el parcelario urbano, la ubicación de zonas verdes, de grandes vías de comunicación, las áreas residenciales, la localización de infraestructuras y equipamientos, etc.

Analizando conjuntamente toda esta información, en lo que constituiría un estudio más elaborado (proyectado en una fase más avanzada de este estudio aquí presentado), sí sería posible llegar a caracterizar las principales fuentes emisoras de ruido en determinados espacios y a diferentes escalas, así como determinar y evaluar la afección a la población, viviendas, etc. También sería posible, como establece la legislación en materia de ruido, caracterizar diferentes áreas acústicas detalladas, conforme a determinados criterios.

Lo que a continuación se presenta es un estudio de caso detallado en el que se pretende analizar la diferencia existente entre el  $L_{Aeq}$  correspondiente al periodo diurno (de 7 a 23 h) y el  $L_{Aeq}$  nocturno (de 23 a 7 h), es decir, entre la caracterización del ambiente sonoro diurno y el de la noche, en una zona concreta. La zona de estudio seleccionada ha sido la correspondiente al distrito de Salamanca (con una extensión de 5,41 km<sup>2</sup> y una población de 147.350 hab.<sup>37</sup>) y algunas de sus zonas limítrofes. Dicho distrito se localiza dentro de la “almendra central” de Madrid (al este de la misma), y queda delimitado al norte por la Calle de María de Molina y la Avda. de América, al este por la M-30, al sur por la Calle de O'Donnell y la Calle de Alcalá, y al oeste por el Pº. de Recoletos y el Pº. de la Castellana. Integra los barrios de Recoletos, Goya, Fuente del Berro, Guindalera, Lista y Castellana.

A efectos del fin señalado se han elaborado dos representaciones cartográficas (ver figuras 7.22. y 7.23., colocadas una a continuación de la otra para facilitar su análisis comparativo), que muestran los valores de los índices acústicos  $L_{Aeq}$  diurno y nocturno, provenientes de la base de datos oficial del Ayuntamiento. Para la representación de los niveles sonoros se ha adoptado la técnica de coropletas, agrupándolos en 8 clases con una amplitud de 5 dBA cada una, y empleado una escala dicromática desde el azul (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (niveles más elevados). Hay que añadir que la leyenda se ha escogido de manera que el cambio cromático desde los azules a los rojos quede próximo a los valores límite establecidos por la normativa (65 dBA para el periodo diurno y 55 dBA para el nocturno), de modo que se podría atisbar un análisis de aproximación al cumplimiento de los mismos, si bien éste se realizará detalladamente más adelante, por lo que en este apartado no se insistirá al respecto. Estas representaciones resultan de la composición de la capa temática que contiene el Plano Acústico de Madrid, la capa de distritos y una capa con la planimetría urbana, usada de referencia.

Como se ha visto a lo largo del análisis, desde el punto de vista espacial los distritos integrantes de la “almendra central” de Madrid, como es el caso de Salamanca, presentan unos niveles sonoros más elevados, es decir, resultan más ruidosos, que el resto de

---

<sup>37</sup> Según el Padrón Municipal de Habitantes de Madrid, a fecha de 1 de enero de 2002.

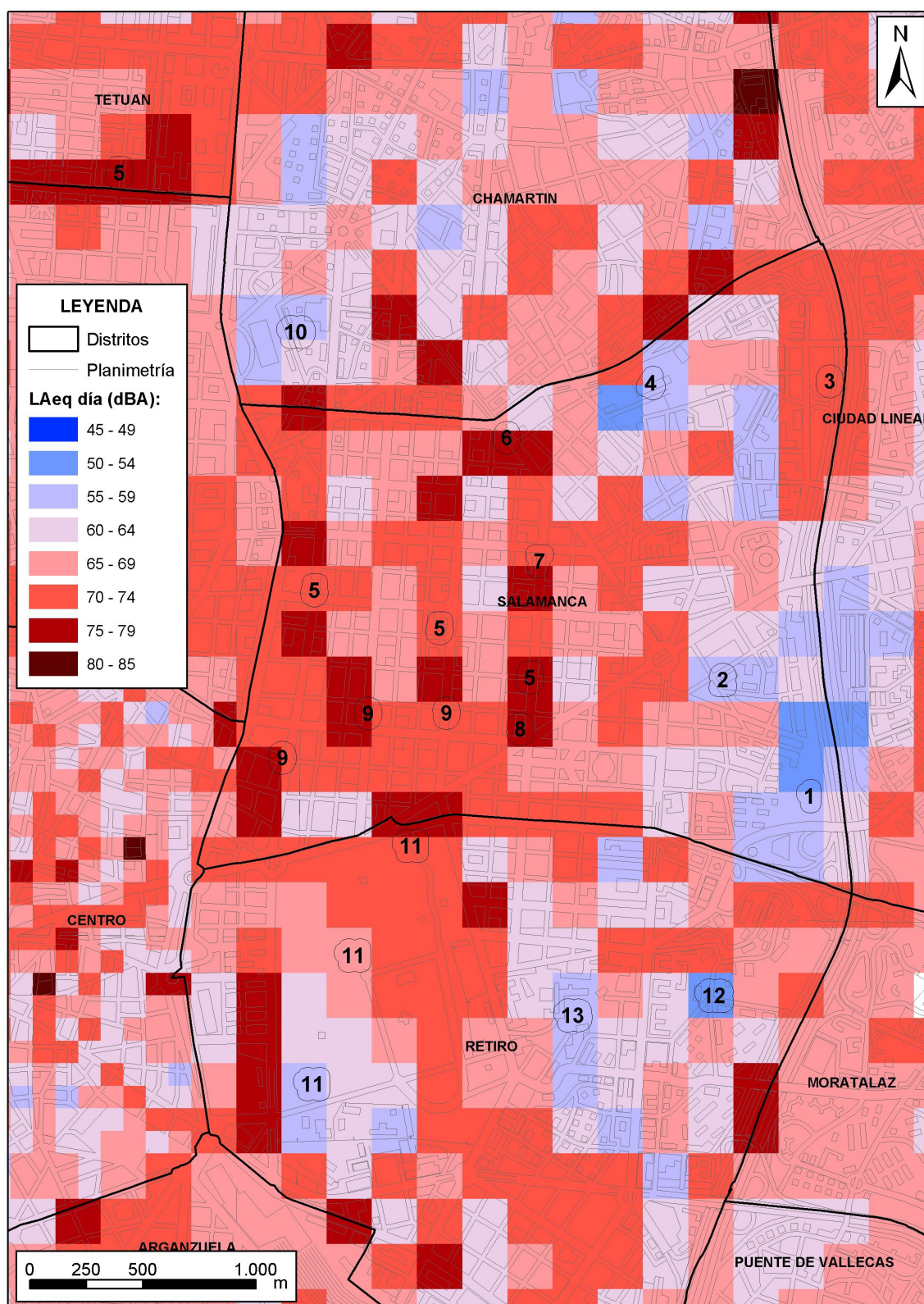
distritos, fundamentalmente los periféricos. Además, su mediana supera a la del conjunto de Madrid.

Dentro del distrito existe una especie de gradación espacial de niveles sonoros, reflejada en una predominancia de los rojos hacia el oeste y de los azules hacia el este. De hecho, se trata del distrito que presenta la mayor variabilidad de los datos de niveles sonoros, tanto durante el periodo diurno, como en el nocturno.

Por otra parte, desde el punto de vista temporal, a lo largo del análisis también se ha llegado a la conclusión de que los niveles sonoros registrados durante el periodo diurno son significativamente más elevados que los del periodo nocturno. Esto se puede apreciar claramente comparando los dos planos que se presentan, observando cómo durante el día hay una clara predominancia de las tonalidades rojizas, mientras que durante la noche las azuladas son las dominantes, o se alcanza un equilibrio entre ambas. La mediana del periodo diurno es 68 dBA, que supera a la del nocturno, 62 dBA. El distrito de Salamanca es uno de los que registra mayores máximos y menores mínimos en todos los periodos temporales considerados: sus máximos son 79 dBA ( $L_{Aeq}$  diurno) y 74 dBA ( $L_{Aeq}$  nocturno), y sus mínimos son 50 dBA ( $L_{Aeq}$  diurno) y 45 dBA ( $L_{Aeq}$  nocturno).

La fuente de ruido dominante a lo largo del periodo diurno es el tráfico rodado, especialmente en los días laborables, junto con las terrazas en las épocas estivales. Igualmente, sucede durante el periodo nocturno. En general, las actividades de pública concurrencia y funcionamiento nocturno (ocio) durante los fines de semana (viernes y sábados) presentan un carácter muy puntual.

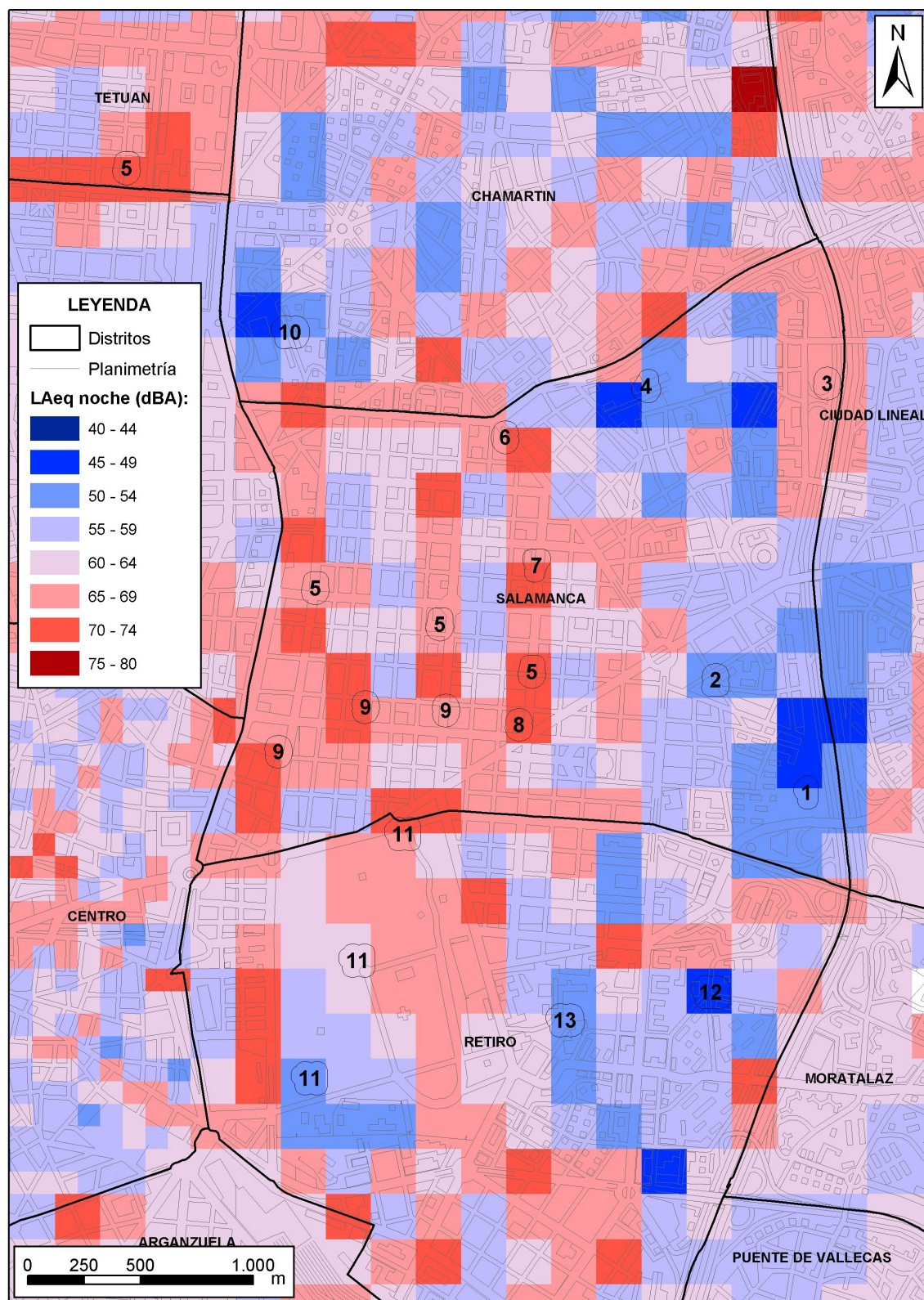
Figura 7.22. Detalle de los niveles acústicos en el distrito de Salamanca y alrededores, para el periodo diurno.



Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.



Figura 7.23. Detalle de los niveles acústicos en el distrito de Salamanca y alrededores, para el periodo nocturno.



Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Yendo al detalle, se han seleccionado una serie de subzonas concretas por el interés que suscitan, las cuales se analizan a continuación. Su localización se puede identificar en los planos mediante la numeración correspondiente.

1. Parque Quinta de la Fuente del Berro: se localiza al sudeste del distrito, encuadrado entre el Puente de las Ventas, la M-30, la Calle de O'Donnell (dependencias de TVE Torrespaña), la Colonia Fuente del Berro, la Colonia Iturbe y la Calle de Sancho Dávila. Tanto durante el día como durante la noche, el área del parque y sus alrededores constituyen la parte del distrito en donde se registran menores niveles sonoros (ver figura 7.24.). Esta área más silenciosa se extiende un poco hacia el otro lado (al este) de la M-30, prolongándose con el enfrentado Parque de Antonio Pirala, más cercano a la zona de las Ventas (ver figura 7.25.). En cuanto al propio Parque de la Quinta de la Fuente del Berro, éste se ubica en forma de cuesta descendiendo hacia la M-30; se trata del descenso natural del terreno hacia el cauce del antiguo Arroyo del Abroñigal, sobre el que hoy día discurre dicha avenida.



*Figura 7.24. Vista del Parque de la Quinta de la Fuente del Berro.*  
Fuente: Martínez Suárez, 2004.



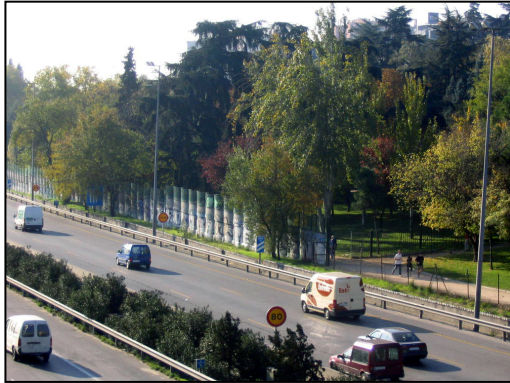
*Figura 7.25. Los parques de la Quinta de la Fuente del Berro (por el oeste) y de Pirala (este) se prolongan en torno a la M-30, hacia Las Ventas.*  
Fuente: Martínez Suárez, 2004.

Es de destacar la existencia de barreras acústicas en su parte más baja y próxima a la M-30 (ver figuras 7.26. y 7.27.), coincidiendo con el límite del Jardín Histórico-Artístico (Bien de Interés Cultural) que se ubica en el interior del parque. Precisamente es en esa zona donde se ubican las cuadrículas con menores niveles sonoros, tanto diurnos como nocturnos, de todo el distrito.

Por otra parte, una explicación de que el conjunto del barrio de la Fuente del Berro posea los niveles más reducidos del distrito se debe, aparte de su carácter fundamentalmente residencial, a la existencia de grandes vías urbanas próximas, como son la Calle de Alcalá (ver figura 7.28.) al norte y la del Doctor Esquerdo (ver figura 7.29.) al



oeste, que actúan de canalizadores del tráfico (es necesario circular por ellos para entrar o salir del barrio). La mayoría de los vehículos que se introducen en el barrio son residentes o lo hacen por motivos comerciales en el periodo diurno.



*Figuras 7.260 y 7.27. Detalle de las barreras acústicas ubicadas en la parte baja del Parque de la Quinta de la Fuente del Berro, junto a la M-30.*  
Fuente: Martínez Suárez, 2004.



*Figura 7.28. Vista de la Calle de Alcalá, entre la Pza. de Manuel Becerra y Las Ventas.*  
Fuente: Martínez Suárez, 2004.

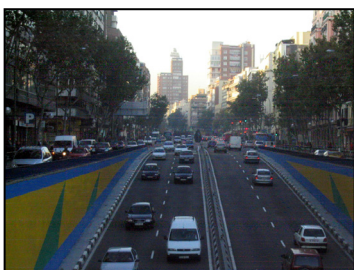


*Figura 7.29. Túnel de la Calle del Dr. Esquerdo, en las proximidades a la Pza. de Manuel Becerra.*  
Fuente: Martínez Suárez, 2004.

2. Los alrededores de las Calles de Rufino Blanco y Marqués de Mondéjar presentan niveles también bajos, en donde existe una zona verde, un parque de bomberos (fuente de ruido bastante puntual) y una comunidad de viviendas con una zona ajardinada privada.
3. El Parque de Breogán, paralelo a la M-30 por el oeste, desde la Avda. de América hasta el Puente de las Ventas, al contrario que el Parque de la Quinta de la Fuente del Berro, presenta niveles sonoros bastante elevados, seguramente por la ausencia de barreras acústicas que lo aislen del ruido generado por el tráfico de la M-30. Sin embargo, un poco más al oeste existe una pequeña banda paralela de cuadrículas

azuladas, que denotan el efecto barrera o pantalla de los primeros bloques de viviendas que van a dar al parque.

4. En los alrededores de la Avda. de América (al sur) destacan los bajos niveles sonoros que se registran en las instalaciones deportivas de la Sociedad Atlético Apóstol Santiago, así como en el Parque de la Guindalera.
5. Desde el eje de la Calle de Francisco Silvela (ver figura 7.34.) - Pza. de Manuel Becerra (ver figuras 7.35. y 7.36.) - Calle del Doctor Esquerdo hacia el interior de Madrid (en sentido oeste), el predominio es de cuadrículas de color rojizo, superando los 65 dBA diurnos, hasta llegar a la zona del Pº. de Recoletos y Pº. de la Castellana, en donde se concentra el mayor número de cuadrículas rojas del distrito (en ocasiones superiores a los 75 dBA), sin duda debido al tráfico permanente de estas vías y sus calles aledañas (zona mixta de oficinas, comercial y viviendas), especialmente de día, pero también mantenido de noche. Las cuadrículas rojas se ajustan al trazado de dichas vías importantes, llegando a observarse “brazos” de cuadrículas que parten del Pº. de la Castellana y siguen el trazado de otras calles principales, especialmente frecuentadas. Este es el caso de la Calle de Raimundo Fernández Villaverde, al noroeste del plano, con niveles sonoros incluso más elevados que los del propio Pº. de la Castellana, especialmente de noche.



*Figura 7.30. Vista de la Calle de Fco. Silvela.*  
Fuente: Martínez Suárez, 2004



*Figuras 7.31 y 7.32. Pza. de Manuel Becerra.*  
Fuente: Martínez Suárez, 2004.

6. El cruce de la Calle de Francisco Silvela con la Avda. de América es de los más ruidosos, por el volumen del tráfico que allí se mueve (ver figura 7.33.), así como por el semáforo de corta duración que regula la intersección de ambas vías. Además, allí se encuentra la entrada/salida de un túnel. Los edificios de la zona presentan cierta altura y no están contruidos con materiales particularmente aislantes, de manera que el efecto rebote de las ondas sonoras se ve potenciado. Por otra parte, inmediatamente al sur de esta zona se ubica el Hospital de la Princesa, cuya cuadrícula presenta unos niveles de 70-74 dBA diurnos y 65-69 dBA nocturnos, recibiendo la influencia de la cercana Calle de Francisco Silvela (ver figura 7.34.).





*Figura 7.33. Proximidades del cruce de Fco. Silvela con la Avda. de América.*

Fuente: Martínez Suárez, 2004.



*Figura 7.34. Hospital de la Princesa, desde la Calle de Fco. Silvela.*

Fuente: Martínez Suárez, 2004.

7. Entre las Calles de Juan Bravo y de José Ortega y Gasset existen ciertas zonas con niveles elevados, debido a actividades de pública concurrencia y funcionamiento nocturno (ocio): terrazas, bares de copas y alguna discoteca. Durante el día, además, se trata de zonas con alta densidad circulatoria (ver figura 7.39.).



*Figura 7.35. Vista de la Calle de José Ortega y Gasset.*

Fuente: Martínez Suárez, 2004.

8. Las Calles de Goya y del Conde de Peñalver se manifiestan como bastante ruidosas. Se trata de vías muy comerciales y frecuentadas, que destacan acústicamente también durante el periodo nocturno.
9. Igualmente sucede en las Calles del Príncipe de Vergara y de Velázquez que, aunque con un carácter más residencial, son importantes vías de comunicación con tráfico frecuente. Destaca también la Calle de Serrano, especialmente en el tramo situado entre la Pza. de la Independencia y los Jardines del Descubrimiento (Pza. de Colón).
10. Fuera del distrito de Salamanca, ya al sudoeste de Chamartín, resalta el color azulado de la zona del Museo Nacional de Ciencias Naturales y de la sede central del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (lindando con la Calle de Serrano). Entre el Pº. de la Castellana y el museo hay un parque en cuesta con denso arbolado, que amortigua el ruido procedente del tráfico (destacan también sus bajos niveles sonoros por la noche). Tras el museo (al este), existe una zona de alta calidad residencial y

embajadas, bastante tranquila, hasta llegar a la Calle de Serrano, que se ve protegida del ruido del Pº. de la Castellana por el propio edificio del Museo y la ETSI Industriales.

11. En los Jardines Históricos del Casón del Buen Retiro los niveles sonoros son variables y más elevados de lo que a priori cabría esperar, a causa de la influencia de las grandes vías que lo circundan. Desde la Calle de Alcalá (límite norte) y la Avda. de Menéndez y Pelayo (límite este) hacia el sudoeste van decreciendo progresivamente los niveles en el interior del parque, hasta llegar a la Calle de Alfonso XII (límite oeste), con niveles sonoros aún más elevados que los anteriores. Sin embargo, la esquina sudoeste del parque, correspondiente al Observatorio Astronómico, es la menos ruidosa tanto de día como de noche.
12. Destaca el bajo nivel registrado en las inmediaciones de las instalaciones de la Piscina de los Mundiales M-86, cerca del cruce de la Avda. del Alcalde Sáinz de Baranda con la Calle del Doctor Esquerdo. Es una zona protegida del tráfico de esta última vía gracias a los grandes bloques de viviendas que la apantallan, y por otra parte se halla suficientemente separada de la M-30 a través del Parque de Roma.

Por último, en el barrio del Niño Jesús, entre la Avda. de Nazaret y la Calle del Doce de Octubre destaca el área educativa correspondiente al Colegio Sta. María del Pilar, con amplias instalaciones deportivas, en donde los niveles sonoros son reducidos. Esta zona queda como un enclave entre vías con gran intensidad circulatoria, como son la Avda. de Menéndez y Pelayo (al oeste) y la Calle del Doctor Esquerdo (al este).

## **7.7. LOS NIVELES ACÚSTICAMENTE MÁS DESFAVORABLES SOPORTADOS EN MADRID**

El examen del conjunto de datos en cada distrito que traducen los casos más ruidosos tiene su interés por cuanto permitirá valorar y comparar entre los distritos aquellos que sufren más severamente en su interior la polución sonora. A tal fin se utilizará un conocido y útil indicador: el percentil 90.

Para ello, se ha decidido apoyarse en el valor de dicho percentil 90 de la serie de datos de  $L_{Aeq}$  registrada. La interpretación de dicho estadístico es la siguiente: su valor en dBA está indicando que el 90 % de las cuadrículas del distrito presenta un nivel sonoro inferior o igual a dicho valor, y por tanto, el 10 % lo supera. Es decir, en cada distrito se va a caracterizar el 10 % de cuadrículas (o lo que es lo mismo, del espacio) que soportan unos niveles sonoros más elevados, en definitiva, se trata de las zonas más desfavorecidas del distrito, de los casos extremos en cuanto a mayor cantidad de ruido. Por tanto, es un índice que está referido al número total de cuadrículas.

El significado del cálculo de este percentil 90 (con dimensión espacial) no debe confundirse con el índice de ruido  $L_{90}$  (con dimensión temporal), el cual indica el nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A (en dBA) que se ha superado o excedido durante el 90 % del tiempo total de medición, con el que suele identificarse el nivel de ruido de fondo (García Sanz y Javier Garrido, 2003).

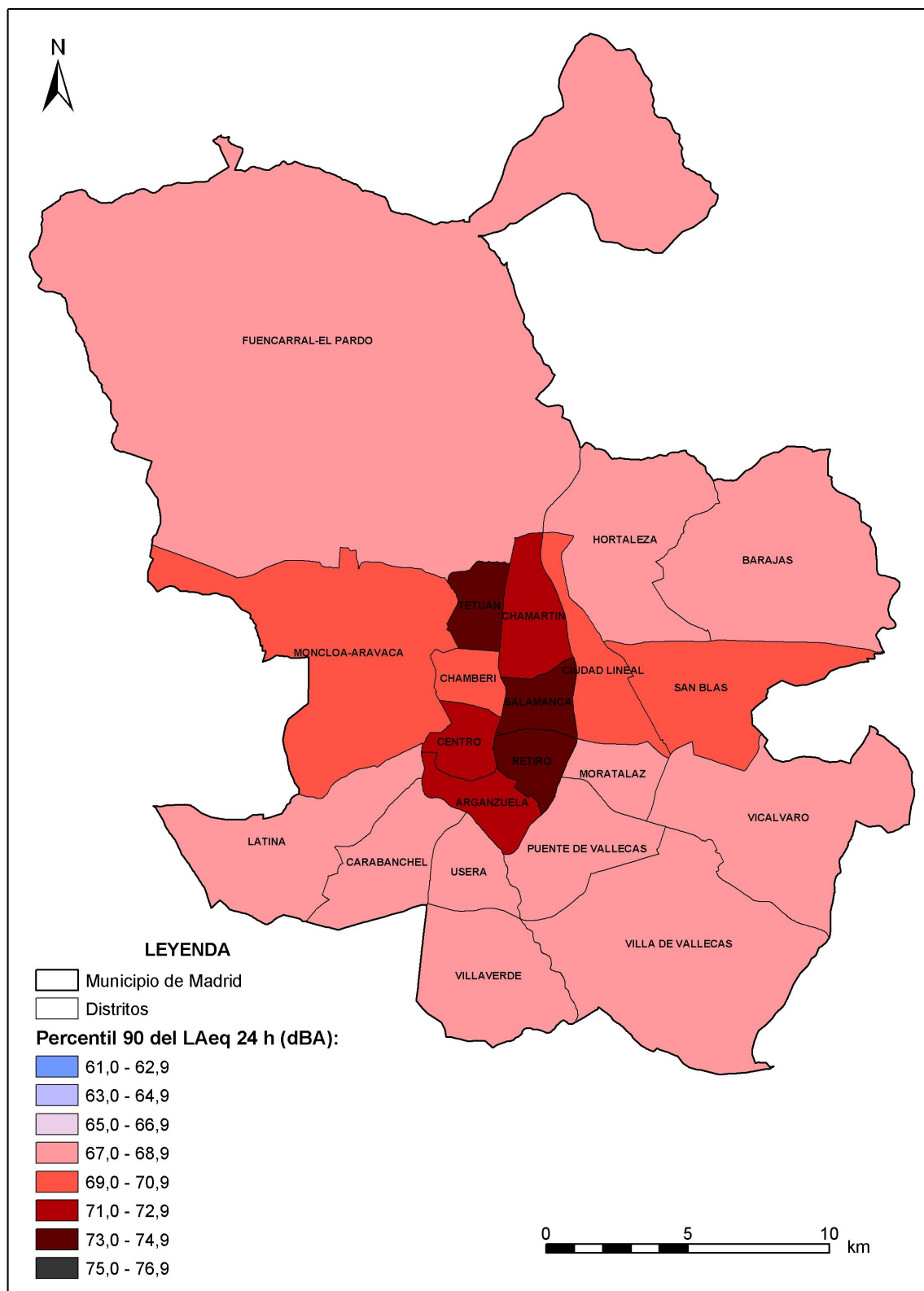
#### **7.7.1. Situaciones acústicamente más desfavorables durante el periodo de 24 horas**

La representación cartográfica que muestra el percentil 90 para el  $L_{Aeq}$  24 horas es el Plano de la figura 7.36., en el que se emplea una representación por colores graduados, con una escala dicromática azul-rojo, agrupando los valores en clases o intervalos de 2 dBA de amplitud cada uno.

En él se puede observar cómo los distritos cuyo 10 % de cuadrículas registra unos niveles sonoros más altos, es decir, unas situaciones más desfavorecidas, son los pertenecientes a la “almendra central” de Madrid, destacando:

- en un primer grupo, Salamanca (10 % de cuadrículas con un nivel superior a 73,6 dBA), Retiro (73 dBA) y Tetuán (73 dBA),
- seguidos de Centro (72 dBA), Chamartín (72 dBA) y Arganzuela (71 dBA),
- a continuación Moncloa-Aravaca (70 dBA), Chamberí (70 dBA), Ciudad Lineal (70 dBA) y San Blas (69 dBA),
- finalmente, el resto de distritos, con unos niveles algo menores que los anteriores, pero aun así elevados, comprendidos entre 67 y 68,9 dBA.

Figura 7.36. Niveles acústicamente más desfavorables soportados en los distritos de Madrid durante el periodo de 24 horas.



Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

### **7.7.2. Situaciones acústicamente más desfavorables durante el periodo diurno**

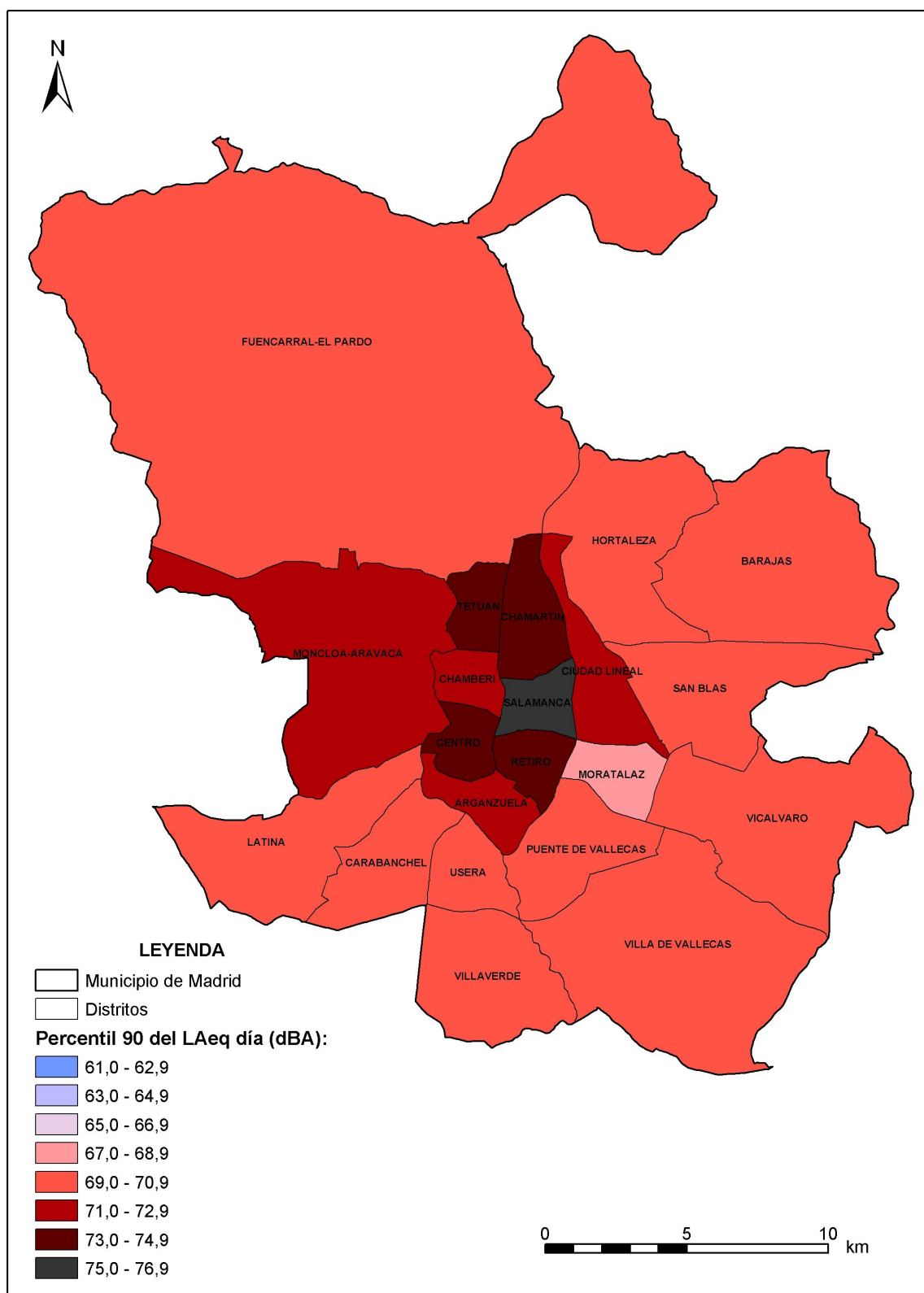
A partir del percentil 90 de la serie de datos de  $L_{Aeq}$  diurno registrada, la representación gráfica de las peores situaciones acústicas soportadas en cada distrito durante el periodo diurno (de 7 a 23 h) es la que se muestra en el plano de la figura 7.37., del mismo tipo que la empleada para el caso del  $L_{Aeq}$  24 horas (colores graduados, con una escala dicromática azul-rojo, con clases o intervalos de 2 dBA de amplitud).

Se puede observar cómo, en este caso, los niveles sonoros en el 10 % de las cuadrículas más desfavorecidas de cada distrito, desde el punto de vista acústico, son sensiblemente más elevados que en el caso anterior. Los valores más altos se registran de nuevo en los pertenecientes a la “almendra central” de Madrid, destacando:

- el distrito de Salamanca, con un 10 % de sus cuadrículas con un nivel superior a 75 dBA,
- tras él, Retiro (74 dBA), Tetuán (74 dBA), Centro (73 dBA) y Chamartín (73 dBA),
- seguidos de Centro (72 dBA), Chamartín (72 dBA) y Arganzuela (71 dBA),
- a continuación Arganzuela (72,3 dBA), Moncloa-Aravaca (71 dBA), Chamberí (71 dBA) y Ciudad Lineal (71 dBA),
- el resto de distritos, con un nivel algo menor que los anteriores, pero aun así elevado, comprendido entre 69 y 70,9 dBA,
- finalmente Moratalaz, con 68 dBA que, aun siendo el menor, se trata de un nivel sonoro bastante elevado.

Obsérvese que en todos los distritos se supera con mucho, por ese conjunto de cuadrículas, el nivel recomendable de 65 dBA (para zonas residenciales).

Figura 7.37. Niveles acústicamente más desfavorables soportados en los distritos de Madrid durante el periodo diurno (de 7 a 23 h).



*Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

### **7.7.3. Situaciones acústicamente más desfavorables durante el periodo nocturno**

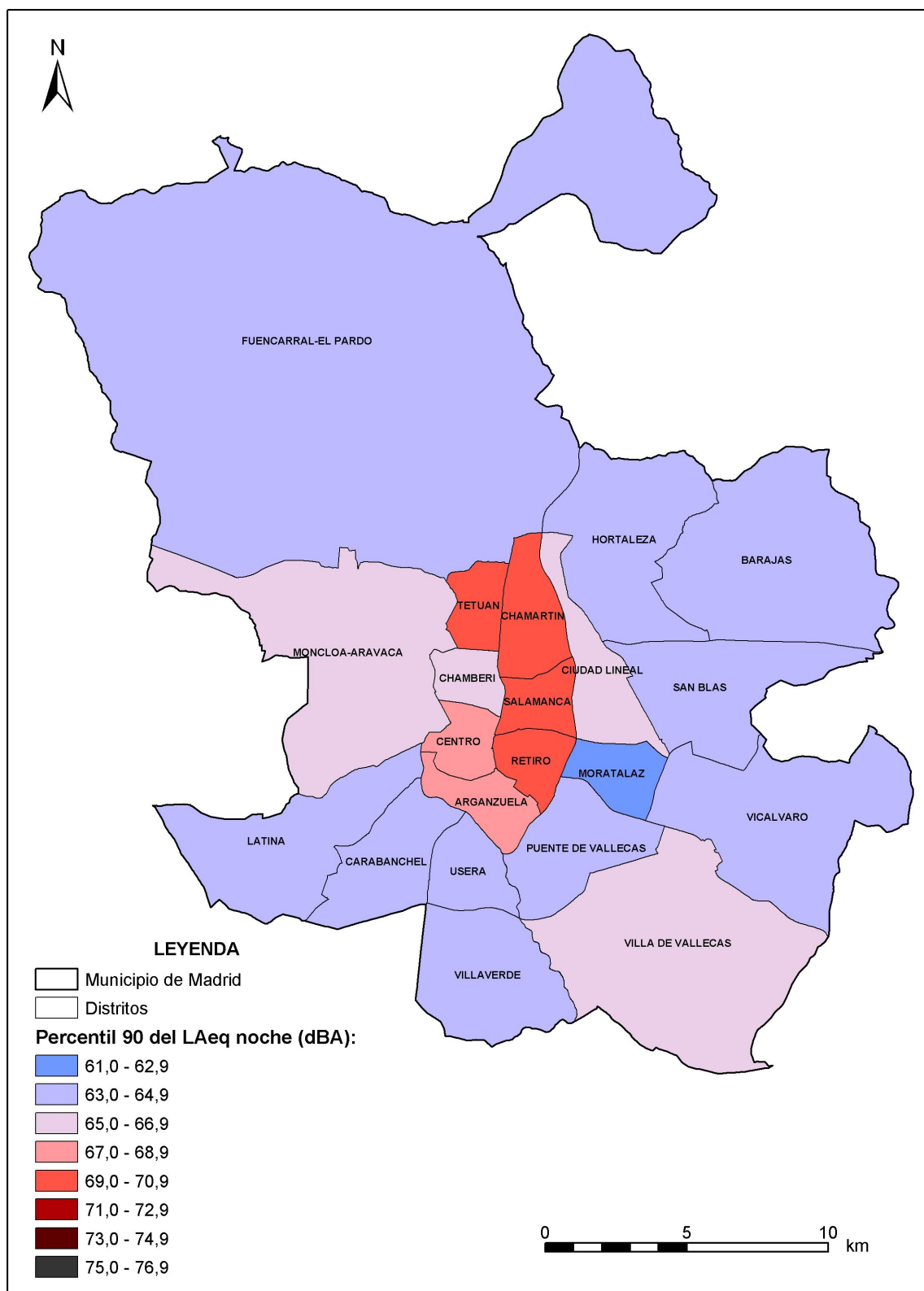
La representación gráfica de las situaciones acústicamente más desfavorecidas de cada distrito, a partir del percentil 90 de la serie de datos de  $L_{Aeq}$  nocturno (de 23 a 7 h), es la que se muestra en el plano de la figura 7.38., del mismo tipo que la empleada en los dos casos anteriormente descritos.

Existen diferencias sustanciales entre los resultados que aporta este plano y los dos anteriores centradas, fundamentalmente, en la reducción de los niveles sonoros. En este caso, los niveles sonoros en el 10 % de las “peores” cuadrículas de cada distrito son sensiblemente menores que en los dos anteriores ( $L_{Aeq}$  24 horas y  $L_{Aeq}$  diurno). Los valores más altos afloran una vez más en el centro de Madrid, destacando:

- los distritos de Tetuán (70 dBA), Salamanca (69,6 dBA), Retiro (69 dBA) y Chamartín (69 dBA),
- seguidos de Centro y Arganzuela (67 dBA),
- a continuación Moncloa-Aravaca (66 dBA), Chamberí (66 dBA), Ciudad Lineal (66 dBA), y Villa de Vallecas (65 dBA),
- el resto de distritos, con un nivel comprendido entre 63 y 64,9 dBA,
- finalmente, al igual que en el periodo diurno, Moratalaz, con un 10 % de cuadrículas que superan los 62 dBA.

Constátase cuán lejos queda, en todos los distritos, el conjunto de cuadrículas más ruidosas de los niveles recomendables para zonas residenciales (55 dBA).

Figura 7.38. Niveles acústicamente más desfavorables soportados en los distritos de Madrid durante el periodo nocturno (de 23 a 7 h).



Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.



#### **7.7.4. Balance conjunto de los periodos de 24 horas, diurno y nocturno**

A la vista de los tres planos recién comentados parece ser que, dentro de la zona acústicamente más conflictiva, es decir, la “almendra central” de Madrid, el distrito de Salamanca es el que soporta situaciones con niveles sonoros más elevados, seguido por Retiro y Tetuán, mientras que Chamberí representa el caso contrario, siendo el menos perjudicado de ellos, a la vez que Moratalaz lo es del conjunto de Madrid.

### **7.8. CUMPLIMIENTO DEL NIVEL ACÚSTICO DIURNO PERMITIDO POR LA NORMATIVA EN MADRID**

#### **7.8.1. Cumplimiento del nivel acústico diurno permitido en zonas residenciales de Madrid**

El objetivo fundamental de este apartado, apoyándose en el Anexo IV de Requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido de la Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental (el cual se puede consultar en el Anexo 1 de esta memoria), y según la Ley 37/2003, del Ruido) es el de analizar y comprobar el cumplimiento de los valores límite vigentes establecidos o aplicables<sup>38</sup>, concretamente su superación o rebasamiento, por parte de los valores del índice acústico considerado ( $L_{Aeq}$  diurno) existentes.

De igual modo que la anteriormente comentada figura 7.12. (Niveles acústicos de Madrid para el periodo diurno) la figura 7.39. muestra una visualización de la realidad del ambiente acústico diurno del municipio de Madrid, a través del  $L_{Aeq}$  diurno como indicador o índice acústico cuyos valores existentes se presentan, es decir, el nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A correspondiente al periodo diurno, expresado en decibelios (dBA). Los datos provienen de la base de datos oficial del Ayuntamiento.

Al igual que en el plano de la mencionada figura 7.12., esta representación cartográfica resulta de la composición de la capa temática que contiene el Plano Acústico de Madrid y la capa de distritos, siendo éstos últimos la unidad espacial que se usará para la comparación. Para la representación de los datos del  $L_{Aeq}$  diurno se ha adoptado la técnica de coropletas, agrupándolos en 9 clases con una amplitud de 5 dBA cada una y empleado una escala dicromática desde el azul (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (más

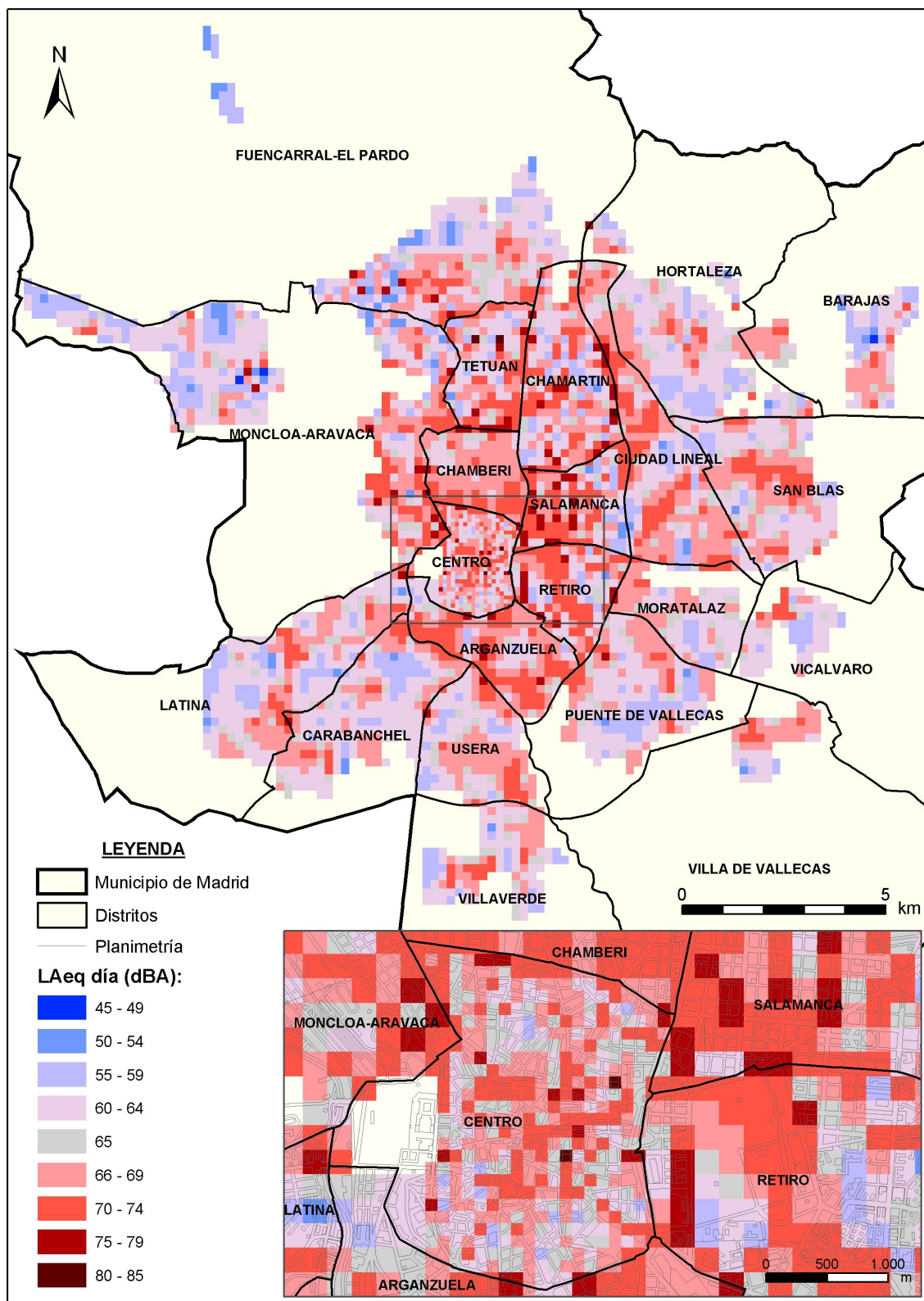
---

<sup>38</sup> Es importante destacar la función del Plano Acústico como herramienta destinada a la planificación y gestión de la contaminación acústica. Recordando el art. 15 de la Ley 37/2003, del Ruido, en él se dice que los objetivos de los mapas serán, entre otros, a) Permitir la evaluación global de la exposición a la contaminación acústica de una determinada zona. b) Permitir la realización de predicciones globales para dicha zona. c) Posibilitar la adopción fundada de planes de acción en materia de contaminación acústica y, en general, de las medidas correctoras que sean adecuadas.

elevados). También se ha añadido la ampliación de una zona contenida en la “almendra central” de Madrid para visualizar mejor sus niveles sonoros, en especial los del distrito de Centro (con cuadrículas de dimensiones 100 m x 100 m), superponiendo además la planimetría con el trazado de las calles, como elemento de referencia añadido.

El aspecto que presenta dicha figura 7.39. es el que se muestra a continuación.

Figura 7.39. Análisis del cumplimiento del nivel acústico diurno permitido (65 dBA) en zonas residenciales, por distritos de Madrid.



Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Para lograr el objetivo planteado al comenzar este apartado, resulta muy importante señalar que la transición de los mencionados colores azules a los rojos pasa por un intervalo intermedio umbral representado en color gris, que recoge el nivel sonoro correspondiente a 65 dBA. La justificación no es otra que la de corresponder éste al valor límite<sup>39</sup> exterior específicamente designado para el periodo diurno (de 7 a 23 horas) en suelo urbano, para las áreas acústicas de Tipo II (Áreas levemente ruidosas) destinadas a uso residencial y dotacional educativo, cultural, religioso y de zonas verdes, establecido por la normativa vigente en el momento de la realización del Plano Acústico de Madrid (*Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano - Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía*, del Ayto. de Madrid). Hay que añadir que este valor límite es también el indicado por las recomendaciones de la OCDE y la Organización Mundial de la Salud (1999) en el documento *Guidelines for Community Noise*.

De este modo, a través de esta representación gráfica se consigue en primer lugar mostrar, mediante la diferencia cromática entre las tonalidades azules y rojas, las cuadrículas que presentan un nivel sonoro ambiental superior a 65 dBA (colores rojos), es decir, las que rebasan el valor límite establecido, y aquellas otras cuyo nivel es inferior (colores azules), pudiendo determinar gráficamente las áreas de mayor impacto acústico. En segundo lugar, se muestran las cuadrículas de color gris, que son aquellas que se encuentran en el límite de incumplimiento de la normativa. Por tanto, este plano está indicando los límites objetivo de calidad acústica a alcanzar por la actuación municipal.

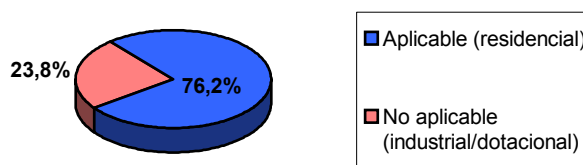
En este sentido, es importante destacar la función del Plano Acústico como herramienta destinada a la planificación y gestión de la contaminación acústica. Recordando el art. 15 de la *Ley 37/2003, del Ruido*, en él se dice que los objetivos de los mapas serán permitir la evaluación global de la exposición a la contaminación acústica de una determinada zona, permitir la realización de predicciones globales para dicha zona, y posibilitar la adopción de planes de acción en materia de contaminación acústica y, en general, de las medidas correctoras adecuadas.

Una observación importante que debe ser tomada en cuenta en la valoración de los resultados de este apartado es que, como se ha dicho, este límite de 65 dBA resulta aplicable para ambientes exteriores en zonas de tipo residencial, los cuales según fuentes municipales constituyen el 76,2 % de las cuadrículas del Plano (véase figura 7.40.), mientras

---

<sup>39</sup> El Estándar Internacional ISO 1996, Acústica - Descripción y medida del ruido ambiental, en su Parte 3: Aplicación para los límites de ruido, apartado 4. Especificación de los requerimientos del **límite de ruido**, aunque no especifica valores, dice que los límites de ruido pueden ser establecidos por las autoridades locales o nacionales en base a las consideraciones generales de compatibilidad con actividades humanas y usos del suelo, y que pueden depender de muchos factores, como el momento del día, las actividades, el tipo de fuentes de sonido y variaciones en su operación, así como factores meteorológicos, económicos y sociales. El descriptor del ruido preferido para la especificación de los límites es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado durante los intervalos de tiempo de referencia considerados.

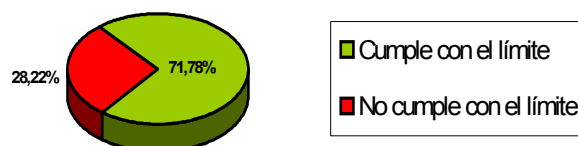
que no es así para el 23,8 % restante, que corresponde a otro tipo de ambientes, fundamentalmente de tipo industrial/dotacional (Ayto. de Madrid, 2002).



*Figura 7.40. Aplicabilidad del valor límite exterior diurno establecido en suelo urbano.*

Fte.: elaboración propia, a partir de datos del Ayto. de Madrid, 2002.

Dentro de la zona de aplicación de este criterio, el cumplimiento del valor límite es el que se representa en la figura 7.41.



*Figura 7.41. Cumplimiento del valor límite exterior diurno establecido en suelo urbano, dentro de la zona aplicable del mismo.*

Fte.: elaboración propia, a partir de datos del Ayto. de Madrid, 2002.

Por tanto, a la vista de estos datos, según fuentes del Ayuntamiento, se puede afirmar que el 72 % de las zonas residenciales de Madrid cumplían con la normativa vigente en 2002, así como con las recomendaciones de la OCDE y de la OMS. Por otra parte, en el histograma de la figura 7.13., que analiza cómo es la distribución del total de cuadrículas (4.397) que integran el conjunto del Plano Acústico de Madrid para el caso del  $L_{Aeq}$  diurno, las clases de 60-65 dBA y de 65-70 dBA (es decir, la inmediatamente inferior e inmediatamente superior al límite vigente establecido o aplicable) son las que contienen, con clara dominancia respecto a las demás, un mayor número de cuadrículas del Plano, representando un 34 % (1487 cuadrículas) y un 35 % (1553 cuadrículas), respectivamente, y estando casi equilibradas ambas. Por tanto, a la vista del histograma, se observa cómo una gran proporción de cuadrículas que cubren el área urbana de Madrid presentan unos niveles de  $L_{Aeq}$  diurno comprendidos entre 60 y 65 dBA, es decir, valores muy próximos al mencionado valor límite.

Con la ayuda de los otros análisis realizados se puede constatar cómo el conjunto del plano de la figura 7.12. pone de manifiesto gráficamente, a la vez que se ve numéricamente en la tabla 7.3. (que recoge los estadísticos correspondientes al  $L_{Aeq}$  diurno, con valor de la mediana de Madrid justamente igual a 65 dBA), que los niveles sonoros globales del municipio de Madrid se encuentran rozando el límite normativo establecido. Respecto a las medianas de los distritos, unas superan los 65 dBA (“almendra central”, además de Ciudad Lineal y Villa de Vallecas) y otras no (resto de distritos).

Por distritos, en la figura 7.37. que analiza las situaciones acústicamente más desfavorables durante el periodo diurno, se observa que en ningún distrito se da el caso de que en el 90 % de sus cuadrículas ninguna supere el límite de 65 dBA. Es más, los máximos registrados en todos los distritos no sólo superan este límite, sino que superan además los 70 dBA (es decir, al menos una cuadrícula de cada distrito tiene un nivel sonoro superior a 70 dBA). Y ninguno de los mínimos de los distritos alcanza los 65 dBA, por lo que, en cada distrito, al menos una cuadrícula cumple el límite.

Este análisis se completa con la figura 7.42, en el que se muestra la cantidad de cuadrículas de cada distrito que no alcanzan, igualan o superan el nivel sonoro límite de 65 dBA, en términos porcentuales sobre cada distrito. Es necesario precisar que, dado que los datos de niveles sonoros oficiales de la base de datos del Ayto. de Madrid se presentan redondeados a números enteros, en dicho proceso de redondeo pueden considerarse como 65 dBA valores desde 64,5 hasta 65,5, de manera que previamente se ha calculado el número de cuadrículas con valor 65 dBA, se ha dividido por la mitad, y una mitad se ha añadido a la cantidad de cuadrículas estrictamente inferiores a 65 dBA y la otra a la cantidad de cuadrículas estrictamente superiores a 65dBA (estableciendo que los intervalos sean “ $\leq 65$  dBA” y “ $> 65$  dBA”, o bien “ $< 65$  dBA” y “ $\geq 65$  dBA”), con la finalidad de compensar este posible error introducido con el redondeo.

En dicha figura 7.42 se observa que:

- en todos los distritos de la “almendra central” el número de cuadrículas con niveles iguales o mayores a 65 dBA supera claramente al resto, especialmente en Chamberí y Arganzuela.
- ello, además, también sucede en algunos distritos más periféricos, como Villa de Vallecas y Usera, ya fuera de dicha “almendra”,
- mientras que en el resto de distritos periféricos hay una clara predominancia de cuadrículas con nivel sonoro menor de 65 dBA, por lo que estarían cumpliendo el límite diurno.

Se adjunta además la tabla 7.5., que recoge numéricamente el grado de cumplimiento por cuadrículas, en cada distrito, y que constata las afirmaciones anteriores.

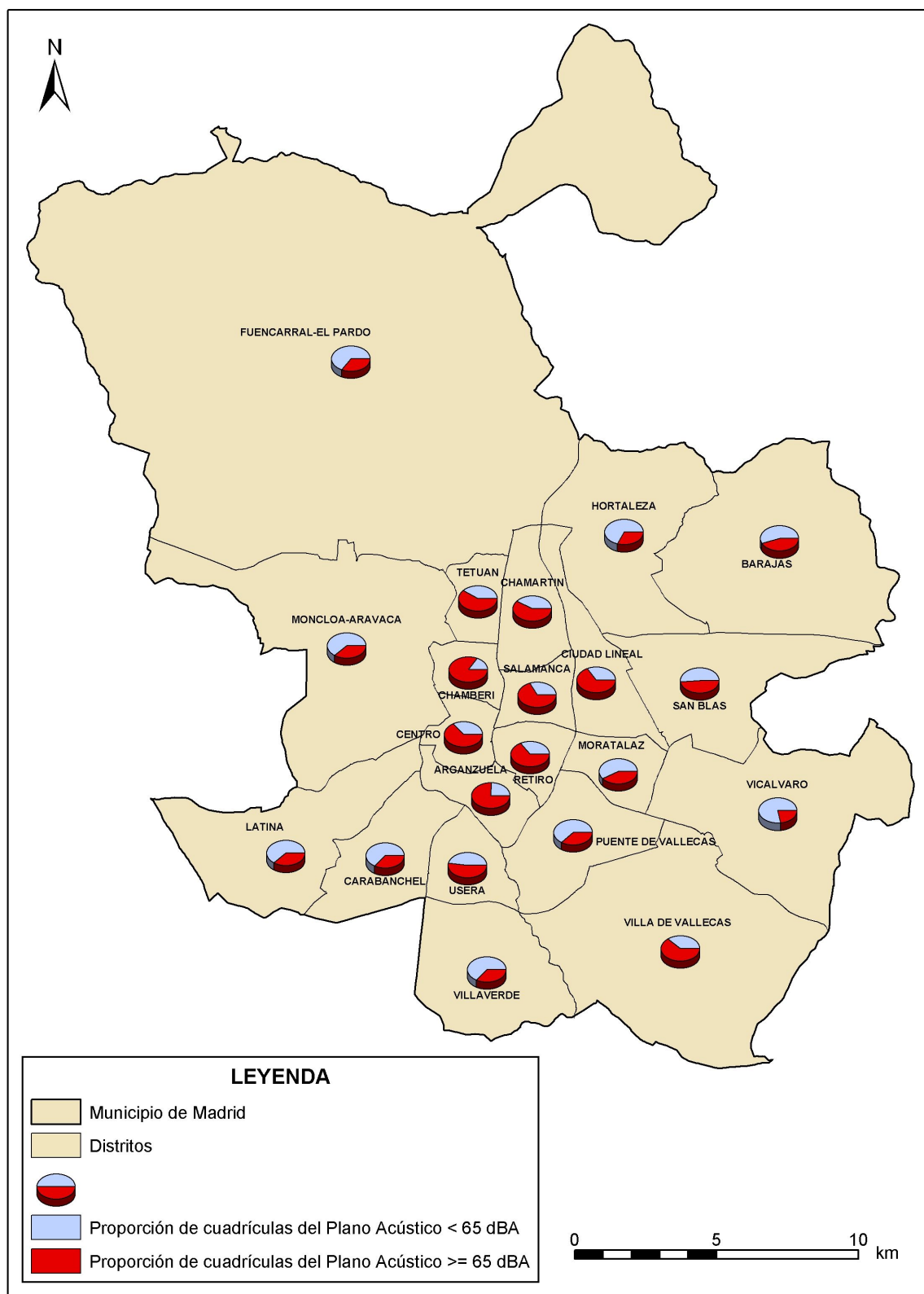
Tabla 7.5. Análisis numérico del grado de cumplimiento del valor límite diurno.

DISTRITO	Nº total de cuadrículas	Nº de cuadrículas con nivel sonoro $\leq$ a 65 dBA	% respecto del total de cuadrículas del distrito
01 Centro	433	178	41,11
02 Arganzuela	168	44	26,19
03 Retiro	134	51	38,06
04 Salamanca	135	49	36,30
05 Chamartín	223	100	44,84
06 Tetuán	135	59	43,70
07 Chamberí	113	21	18,58
08 Fuencarral-el Pardo	322	224	69,57
09 Moncloa-Aravaca	478	311	65,06
10 Latina	310	203	65,48
11 Carabanchel	237	159	67,09
12 Usera	175	92	52,57
13 Puente de Vallecas	227	148	65,20
14 Moratalaz	117	76	64,96
15 Ciudad Lineal	273	103	37,73
16 Hortaleza	269	198	73,61
17 Villaverde	140	95	67,86
18 Villa de Vallecas	62	25	40,32
19 Vicálvaro	81	66	81,48
20 San Blas	244	138	56,56
21 Barajas	121	71	58,68
<b>TOTAL</b>	<b>4397</b>	<b>2411</b>	<b>55</b>

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

En síntesis, en 9 de los 21 distritos madrileños hay una mayor proporción (> 50 %) de cuadrados en los que se incumplen los límites, evidenciando una tendencia a un mayor incumplimiento en los distritos centrales, destacando Chamberí, así como en alguno periférico. En el otro extremo Vicálvaro y Hortaleza destacan con una mayor proporción de cuadrados cumplidores.

Figura 7.42. Superación del nivel acústico límite diurno permitido, en zonas residenciales, por distritos de Madrid.



Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.



### **7.8.2. Cumplimiento del nivel acústico nocturno permitido en zonas residenciales de Madrid**

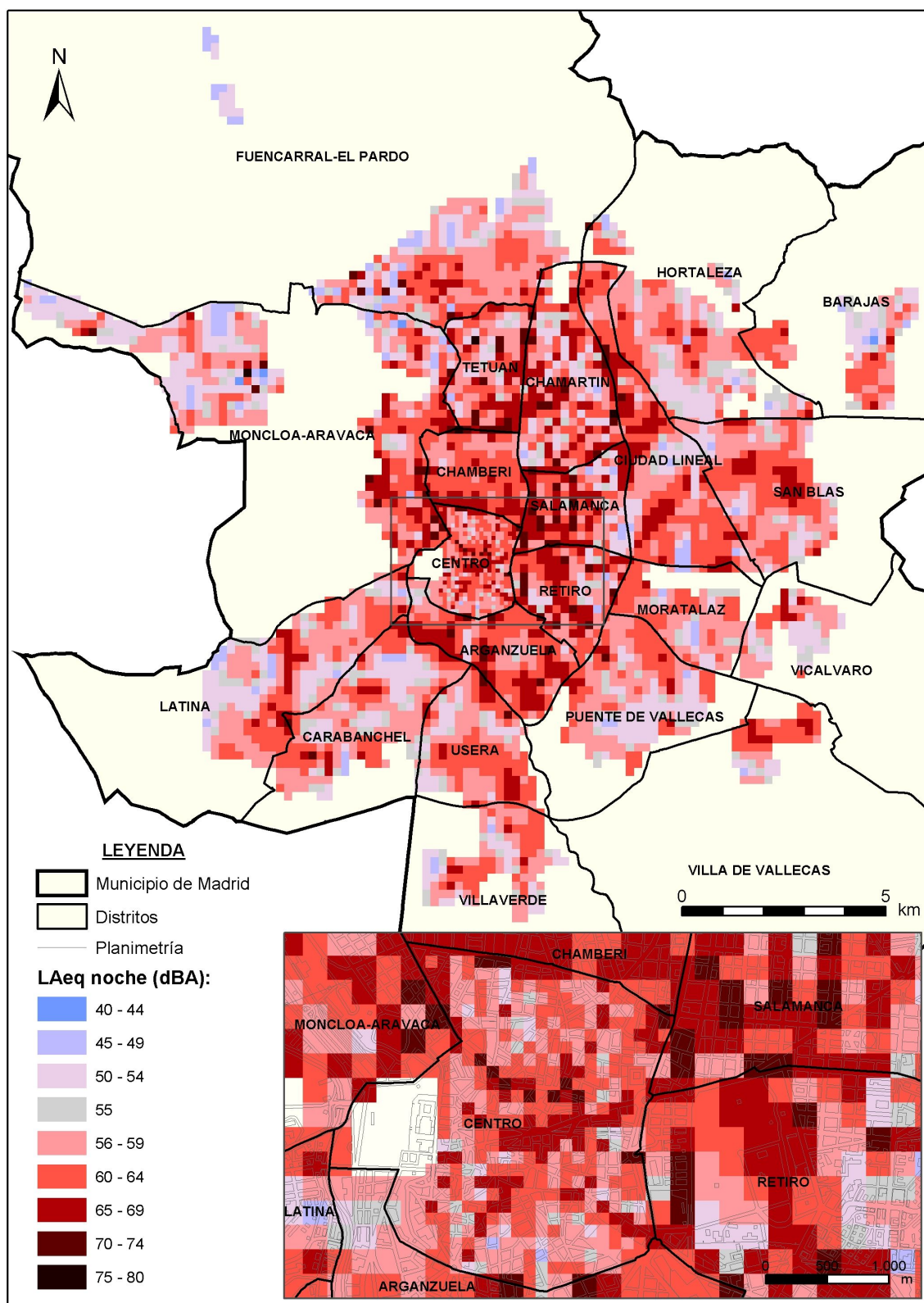
Análogamente al caso anterior, aunque en esta ocasión para el periodo nocturno, la figura 7.43. muestra una visualización de la realidad del ambiente acústico del municipio de Madrid, a través del  $L_{Aeq}$  nocturno como indicador acústico (los datos provienen de la base de datos oficial del Ayuntamiento).

De nuevo se trata de una composición de la capa temática que contiene el Plano Acústico de Madrid y la capa de distritos (unidad espacial de análisis). El plano de coropletas realizado agrupa los datos en 9 clases con una amplitud de 5 dBA cada una, con una escala dicromática desde el azul (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (más elevados), y se ha incluido una ampliación de la zona central de Madrid para visualizar mejor sus niveles sonoros, superponiendo la planimetría.

El objetivo de este plano, según el Anexo IV de *Requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido* de la *Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental* (recogido en el Anexo 1 de esta memoria) y la *Ley 37/2003, del Ruido* es el de analizar el cumplimiento de los valores límite vigentes establecidos o aplicables, concretamente su superación por parte de los valores del  $L_{Aeq}$  nocturno existentes.

Para ello, en este caso la transición de los colores azules a los rojos pasa por un intervalo intermedio representado en color gris que recoge el nivel sonoro correspondiente a 55 dBA, debido a que éste es el valor límite exterior nocturno (de 23 a 7 horas) en suelo urbano, para las áreas acústicas del Tipo II (Áreas levemente ruidosas) destinadas a uso residencial y dotacional educativo, cultural, religioso y de zonas verdes, establecido por la normativa vigente en el momento de la realización del Plano Acústico de Madrid (*Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano - Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía, del Ayto. de Madrid*). Por otra parte, al igual que sucede con el valor límite diurno, este límite nocturno es también el indicado por las recomendaciones de la OCDE y la Organización Mundial de la Salud (1999) en el documento *Guidelines for Community Noise*.

Figura 7.43. Análisis del cumplimiento del nivel acústico nocturno permitido (55 dBA) en zonas residenciales, por distritos de Madrid.



Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Esta representación cartográfica muestra las cuadrículas que presentan un nivel sonoro ambiental superior a 55 dBA (tonalidades rojizas), es decir, las que superan el valor límite establecido, y aquellas otras cuyo nivel es inferior (tonalidades azuladas). Mediante la diferencia cromática se puede evidenciar gráficamente las áreas de mayor impacto acústico. Las cuadrículas de color gris son las que se encuentran en el límite de incumplimiento de la normativa (55 dBA). Por tanto, con este plano también se indican los límites objetivo de calidad acústica a alcanzar por la actuación municipal. Una observación importante que debe ser tomada en cuenta en la valoración de los resultados de este apartado es que, al igual que sucede en el caso del periodo temporal diurno, este límite normativo resulta aplicable para ambientes exteriores en zonas de tipo residencial.

Evaluando globalmente la exposición a la contaminación acústica, se observa un generalizado incumplimiento del valor límite, con una destacada predominancia de las tonalidades rojizas oscuras.

En el histograma de la figura 7.18., que analiza la distribución de las cuadrículas del conjunto del Plano Acústico de Madrid para el caso del  $L_{Aeq}$  nocturno, las clases de 50-55 dBA e inferiores son las que menor número de cuadrículas recogen (alrededor del 20 % de las cuadrículas), de manera que la mayoría superan el límite.

A través de los otros análisis realizados se puede ver cómo el conjunto del plano de la figura 7.17. manifiesta gráficamente, a la vez que numéricamente la tabla 7.4. (que recoge los estadísticos correspondientes al  $L_{Aeq}$  nocturno, con valor de la mediana de Madrid igual a 59 dBA), que los niveles sonoros globales del municipio de Madrid superan el límite establecido. Las medianas de todos los distritos superan los 55 dBA, mientras que ninguno de los mínimos registrados alcanza dicho valor, por lo que, en cada distrito, al menos una cuadrícula cumple el límite, si bien alguno posee un valor mínimo muy próximo (Chamberí con 54 dBA o Arganzuela con 52 dBA).

Lo mismo sucede por distritos, en el caso del análisis de las situaciones acústicamente más desfavorables durante el periodo nocturno (ver figura 7.17.), en donde en ningún distrito se da el caso de que en el 90 % de sus cuadrículas ninguna supere el límite de 55 dBA.

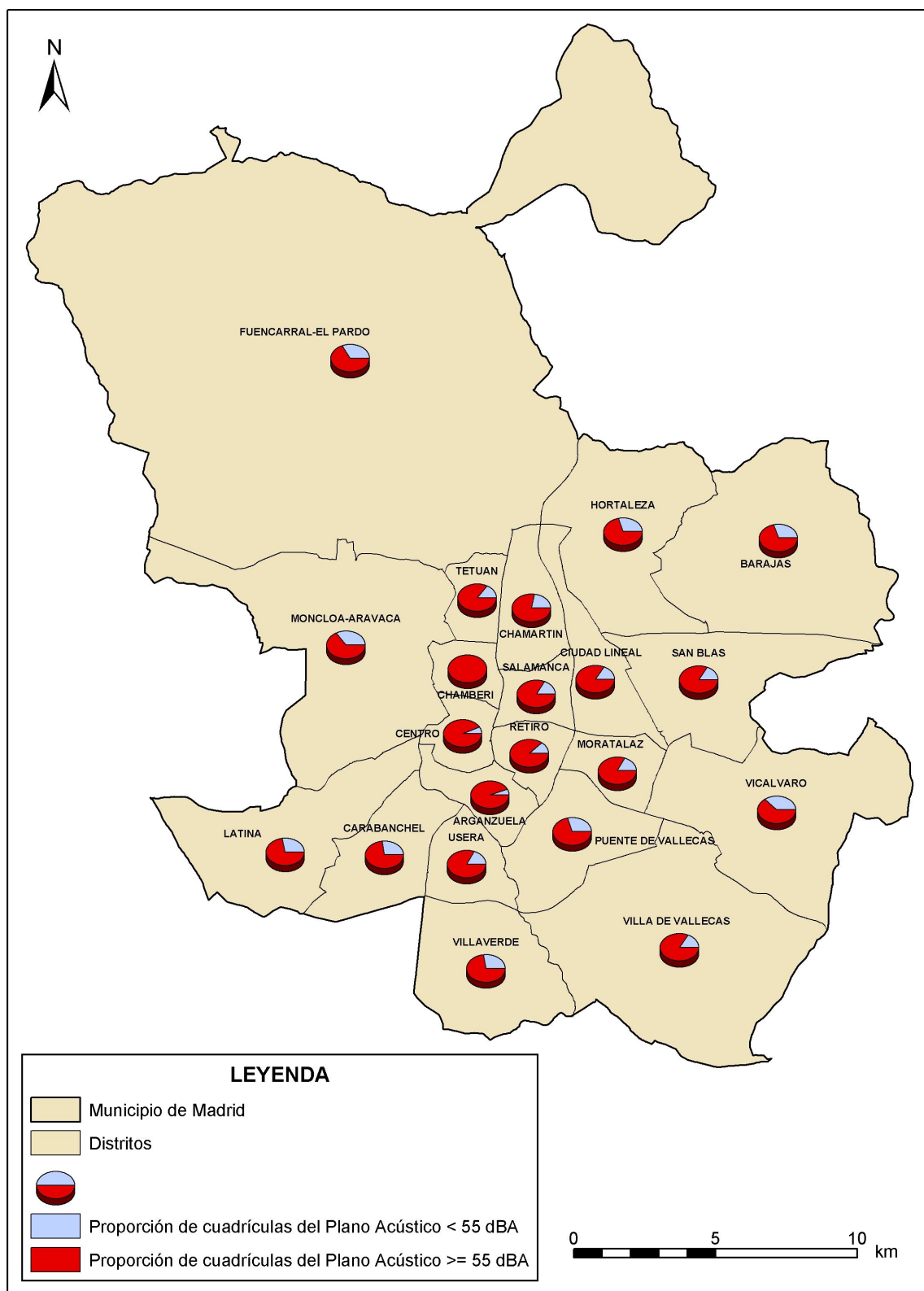
Este análisis se completa con la figura 7.44., en el que se ha representado la cantidad de cuadrículas de cada distrito que no alcanzan, igualan o superan un nivel sonoro de 55 dBA, en términos porcentuales. Hay que precisar que, de igual modo que en el caso del anterior análisis de superación del valor límite diurno, se ha compensado el error introducido al presentar los datos de niveles sonoros oficiales redondeados a números enteros. Dicha figura indica lo siguiente:

- los distritos de la zona central presentan casi su totalidad de cuadrículas con niveles sonoros iguales o superiores a 55 dBA, destacando los % de distritos tales como, Arganzuela o Centro.
- pero, de entre todos ellos, destaca Chamberí, cuyos niveles sonoros nocturnos incumplen prácticamente en su totalidad la normativa, si bien éstos no son de los más elevados, por lo que de nuevo se resalta su carácter de homogeneidad en los datos y escasa variabilidad, como se puede apreciar en la figura 7.44. (a este distrito le sigue Arganzuela),
- en el resto de distritos, especialmente en los periféricos, la proporción de cuadrículas con niveles inferiores a 55 dBA aumenta ligeramente, manteniéndose aun así muy reducida (1/3 aproximadamente). Destacan Puente de Vallecas y Carabanchel como distritos relativamente cercanos al centro del núcleo urbano pero con una mayor proporción (aún así escasa) de cuadrículas cumplidoras del límite. Algo parecido sucede en Moncloa-Aravaca, si bien se debe a la influencia de los bajos niveles registrados a lo largo del eje de la N-VI (área aislada de Aravaca, El Barrial, La Florida, El Plantío y Casa Quemada), frente al área situada al este, próxima a los distritos de Chamberí y Centro. Por tanto, el incumplimiento es generalizado.

DISTRITO	Nº total de cuadrículas	Nº de cuadrículas con nivel sonoro $\leq$ a 55 dBA	% respecto del total de cuadrículas del distrito
01 Centro	433	39	9,01
02 Arganzuela	168	11	6,55
03 Retiro	134	20	14,93
04 Salamanca	135	25	18,52
05 Chamartín	223	56	25,11
06 Tetuán	135	23	17,04
07 Chamberí	113	1	0,88
08 Fuencarral-el Pardo	322	118	36,65
09 Moncloa-Aravaca	478	180	37,66
10 Latina	310	100	32,26
11 Carabanchel	237	79	33,33
12 Usera	175	36	20,57
13 Puente de Vallecas	227	76	33,48
14 Moratalaz	117	25	21,37
15 Ciudad Lineal	273	47	17,22
16 Hortaleza	269	98	36,43
17 Villaverde	140	44	31,43
18 Villa de Vallecas	62	12	19,35
19 Vicálvaro	81	35	43,21
20 San Blas	244	46	18,85
21 Barajas	121	43	35,54
<b>TOTAL</b>	<b>4397</b>	<b>1114</b>	<b>25</b>

*Tabla 7.6. Análisis numérico del grado de cumplimiento del valor límite diurno.  
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

Figura 7.44. Superación del nivel acústico límite nocturno permitido, en zonas residenciales, por distritos de Madrid.



Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.



## **8. AFECCIÓN POTENCIAL DEL RUIDO EN LA POBLACIÓN Y EQUIPAMIENTOS SENSIBLES**

## 8.1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Este capítulo se presenta como una continuación lógica del anterior, en donde se recogía el primer gran bloque de resultados de la investigación dedicado al **diagnóstico** del ambiente acústico exterior en la ciudad de Madrid y al análisis de su patrón espacio-temporal. En línea con las indicaciones de la *Ley del Ruido* y las iniciativas del Ayuntamiento de Madrid, este siguiente gran capítulo aborda el problema del ruido ambiental exterior en ciertos subconjuntos del espacio urbano, concretamente se centra en el estudio de la **calidad** del entorno acústico de determinados equipamientos y dotaciones especialmente sensibles, así como de la afección que el ruido supone para las personas en Madrid.

Como se ha señalado en otras partes de la tesis, son muchos y diversos los factores de los que depende la calidad ambiental del medio urbano y que influyen en la percepción, conducta, bienestar y salud de las personas. Entre ellos destaca el ruido urbano, el cual ha generado en los últimos tiempos una creciente sensibilidad social y preocupación hacia ese viejo problema que se ha reflejado en un notable eco y respuesta entre las instancias políticas.

El ruido viene caracterizado por unos rasgos, entre otros la intensidad, con una distribución singular en el tiempo y en el espacio, que resulta significativa para las actividades que en los lugares en cuestión se dan. La presencia de inmisión sonora en el entorno es, además de un fenómeno físico, un fenómeno perceptivo desde el momento en que los individuos presentes en ese entorno lo sienten, pudiendo convertirse en una molestia o un problema para su salud, especialmente en entornos donde precisamente se busca sosiego dentro de la ciudad, como sería el caso de las zonas verdes, o bien donde un ambiente silencioso sea requerido para el adecuado cumplimiento de la función específica de un espacio dotacional (recuperación de la salud en caso de centros hospitalarios, etc.). En muchas ocasiones no es posible conocer la afección real sobre las personas y actividades, sólo cabe presumir la existencia de efectos indeseables por ruido ambiental, especialmente a partir de la superación de los umbrales internacional y legalmente establecidos. Por tanto, aquí se aludirá frecuentemente a la afección como una verosímil posibilidad o potencial, en lugar de algo real o demostrable con los datos disponibles. La existencia de cierta información basada ya en respuestas subjetivas, como la que se recogió en un censo de población de España, nos permitirá sin embargo una primera aproximación a esos impactos personales.

Está consensuada la existencia de una relación causal entre un elevado nivel sonoro y el grado de molestia en los sujetos perceptores. En otro capítulo de esta investigación (*vid.* apartado 2.2.4.) se puso de manifiesto que el problema de la contaminación acústica es motivo de preocupación por los graves trastornos que origina y por su afección sobre la salud (tanto fisiológica como psicológica), el descanso, el comportamiento y las actividades



de las personas, produciendo estrés, insomnio, afecciones cardiovasculares, etc., reconocidos tanto por la comunidad científica como legislativa. Prueba de la creciente preocupación que suscita viene reflejada en la gran cantidad de denuncias y quejas relacionadas con este molesto problema que tanto particulares como colectivos hacen llegar a las autoridades, así como por su consideración en el ámbito de la Salud Pública (Pérez Martos, 2003), sector que, como es bien sabido, constituye uno de los puntos claves no sólo para las políticas municipales (e. g. *Estudio Básico de Salud* del Servicio de Prevención y Promoción de la Salud del Ayuntamiento de Madrid) y autonómicas (*Informe del Estado de Salud de la Población de la Comunidad de Madrid*, *Libro Blanco de la Salud Pública de la Comunidad de Madrid*, etc., de la Consejería de Sanidad y Consumo), sino también a nivel nacional (*Plan de Calidad para el Sistema Nacional de Salud 2006*, *Plan de Acción de Salud y Medio Ambiente*, etc., del Ministerio de Sanidad y Consumo).

La conveniencia de que ciertas actividades se desarrollen en un ambiente apropiado, particularmente en materia de ruido, se ha ido asentando racional y normativamente de manera inequívoca. La disponibilidad reciente de mejores datos sonoros sobre el ámbito urbano está abriendo la posibilidad de determinar las características acústicas de los entornos exteriores que envuelven a diversas instalaciones y equipamientos, y valorar luego su adecuación.

En este sentido, el *Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas* concreta el concepto de calidad acústica, definida al fijar los objetivos de calidad aplicables tanto a las áreas acústicas (espacio exterior) contempladas en la *Ley del Ruido*, como al espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales, por ser éstas, dados los usos a que se destinan, las más sensibles a las molestias y alteraciones del sueño producidas por la contaminación acústica (Sanz Sa, 2007).

Siguiendo estas premisas, en este segundo gran bloque de resultados de la investigación se han seleccionado determinados equipamientos especialmente sensibles, como son los hospitales, los parques y zonas verdes<sup>40</sup>, que prestan ciertas utilidades y servicios a la población, y se ha desarrollado una metodología de análisis y diagnóstico para estudiar la afección potencial por ruido ambiental urbano en Madrid.

Ya se ha comentado en este trabajo que el tráfico rodado es la principal fuente de contaminación acústica en nuestras ciudades. En consecuencia e inevitablemente, los

---

<sup>40</sup> La Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, en su art. 2.1 (Ámbito de aplicación), dice: "La presente Directiva se aplicará al ruido ambiental al que estén expuestos los seres humanos en particular en zonas urbanizadas, en parques públicos u otras zonas tranquilas en una aglomeración, en zonas tranquilas en campo abierto, en las proximidades de centros escolares y en los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido".

niveles sonoros del entorno de dichos equipamientos van a estar condicionados por la existencia de automóviles que recorren las vías de comunicación aledañas o cercanas, y van a depender del volumen circulatorio registrado, el cual sigue patrones temporales determinados. El complejo entramado urbano y la necesaria regulación del tráfico obliga a los vehículos a realizar aceleraciones y paradas muy frecuentes (semáforos, cruces, etc.), lo que implica un aumento de la producción de ruido (García Sanz y Javier Garrido, 2003), de tal suerte que la proximidad a grandes vías o a calles generalmente colapsadas va a influir sobremanera en la caracterización acústica del entorno de estas dotaciones.

Actualmente y, siguiendo las indicaciones de la *Ley del Ruido*, el Ayuntamiento de Madrid ha procedido a la delimitación, a partir de los usos del suelo, de las áreas acústicas urbanas según los objetivos de calidad acústica considerados en cada una de ellas, *i. e.* los niveles sonoros admisibles. Este proceso de demarcación es aún genérico, por lo que no ha entrado en el análisis detallado de tipologías concretas como sería el caso de las correspondientes a los equipamientos aquí elegidos, materia en la que este estudio pretende hacer su aportación.

A la luz de lo expuesto parece relevante preguntarse cómo caracterizar el nivel de ruido existente en el entorno concreto de dichos equipamientos. Este capítulo se enfrenta así a la determinación del ámbito o ambiente sonoro en el que se ubican sus instalaciones, en referencia a la porción del espacio que lo rodea y que es considerado como su entorno significativo. A tal fin se define, en primer lugar, la noción de entorno acústico, y luego se formula y aplica, con el soporte de SIG y técnicas estadísticas, una metodología de análisis espacial adecuada para su caracterización acústica, en ocasiones realizando varios ensayos, cuya comparación ha conducido a la valoración de su bondad relativa. El análisis de la información sonora asociada al entorno de cada equipamiento permite estimar la adecuación de su ubicación, el cumplimiento de los niveles recomendados por la normativa y las situaciones más favorables/desfavorables. La discusión de los resultados obtenidos se ha ido incluyendo en cada subapartado.

Finalmente, las contribuciones metodológicas de este capítulo, aparte de intentar aportar una luz adicional al estudio de la contaminación acústica en la ciudad de Madrid, son eventualmente adaptables también a otros equipamientos urbanos distintos de los aquí estudiados, y con ellas se pretende configurar una herramienta efectiva para el diagnóstico de situaciones ambientales urbanas y para suscitar el planeamiento de ulteriores medidas de control sobre las fuentes o paliación de las inmisiones sonoras.

## **8.2. EL ENTORNO ACÚSTICO DE LOS HOSPITALES DE MADRID**

### **8.2.1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN**

El Plano Acústico de Madrid refleja de forma bastante completa el panorama sonoro en el que se desenvuelve la vida cotidiana de sus ciudadanos y constituye una valiosa fuente de información para la actuación municipal en general y, en particular, en relación con los equipamientos sanitarios, cuya naturaleza requiere ambientes sosegados, en consonancia con las necesidades de los tratamientos, recuperaciones, etc. prescritos. Esta parte de la investigación, a través de las herramientas que ofrecen los sistemas de información geográfica, avista analizar el ambiente sonoro urbano asociado a los centros hospitalarios de la ciudad de Madrid, que atienden a miles de pacientes a lo largo del año y cuya función les hace recaer en la categoría de “áreas acústicas de Tipo I (Áreas de silencio)” destinadas a uso dotacional de equipamientos sanitarios y de bienestar social, según la Ordenanza municipal de Madrid.

Es lógico pensar que los centros hospitalarios, por las actividades que en ellos tienen lugar, son un tipo de equipamiento urbano especialmente vulnerable al ruido. Dan servicio cotidianamente a una considerable cifra de población y, además, prestan atención a casi todos los ciudadanos en algún momento de su vida. De forma más acotada, este estudio concierne sobre todo a los pacientes que requieren hospitalización, a los enfermos afectados de procesos precisando consultas o tratamientos ambulatorios en hospitales, visitantes y acompañantes de pacientes y personal empleado en los mismos, por cuanto están inmersos en dicha atmósfera sonora por un período más o menos largo.

Aunque ha existido interés y atención al ruido como factor relevante para el restablecimiento de la salud en hospitales, ello ha recaído generalmente sobre el ambiente interno de los edificios y desde una perspectiva médica, como en el documento *Guidelines for Community Noise* de la Organización Mundial de la Salud (1999), en donde se proponen valores sonoros que no deben superarse según espacios interiores concretos del hospital (habitaciones de tratamiento u observación, unidades de cuidados intensivos, salas de operaciones o de neonatos, etc.). Philimoni *et al.* (2011) exploraron la incidencia del ruido interior en un hospital en Lake Victoria Zone (Tanzania), detectando diferencias entre unas zonas y otras y concluyendo que las principales fuentes de ruido eran las conversaciones entre pacientes, familiares y enfermeros/as. Por su parte, Pai (2007) realizó un estudio parecido en Taiwan, obteniendo que los niveles sonoros más altos se producían en las dependencias allí más frecuentadas: el vestíbulo y la farmacia. Otros estudios, como el de Juang *et al.* (2010), se centran en la afección a los empleados y pacientes. Kumar Rampal y

Rasool (2005) abordaron el tema desde una doble perspectiva interior-exterior de varios centros hospitalarios públicos de la ciudad de Jammu (India). Las búsquedas realizadas parecen avalar que el análisis empírico del entorno exterior a los hospitales, bien desde una perspectiva ambiental, bien urbanística, ha sido escaso.

Los niveles sonoros registrados en el entorno de los centros hospitalarios van a venir condicionados principalmente por el tráfico circulatorio de vehículos por la vía pública (*vid.* 3.2. Principales fuentes de ruido urbano), si bien en este caso concreto a ello hay que añadir el elevado sonido de las sirenas de ambulancia, que actúa puntualmente, aunque con cierta frecuencia, dada la naturaleza sanitaria de los equipamientos en cuestión. Hay que mencionar también la contribución de las causas generadoras de ruido dentro de los propios centros sanitarios, que son principalmente las ocasionales obras de mantenimiento, reparaciones y mejora de las instalaciones (García Sanz y Javier Garrido, 2003), unidas a la propia actividad y estructura del centro (Gonzalo García, 2000): personas, funcionamiento de equipos eléctricos y mecánicos en general, instalaciones de calefacción, ventilación y/o climatización, instalaciones de fontanería, ascensores, puertas, oficinas, actividades asistenciales, cafetería, televisiones y radios, etc.

A la luz de lo expuesto, parece relevante preguntarse cómo caracterizar el nivel de ruido existente en el entorno de estos equipamientos, de cara a valorar su adecuación y posibilitar un diagnóstico y valoración de ese componente de la calidad ambiental exterior (no en el interior de las instalaciones).

A tal fin se define, en primer lugar, la noción operativa de entorno acústico de un equipamiento, y luego se formula y aplica, con el soporte de SIG y técnicas estadísticas, una metodología de análisis espacial adecuada para su determinación en este tipo concreto de equipamientos urbanos, con su propia valoración crítica. El ulterior análisis y caracterización de la información sonora asociada al entorno de cada centro hospitalario permite estimar la adecuación o no de su ubicación, el cumplimiento de los niveles aceptables recomendados y/o especificados en la normativa y las situaciones más favorables/desfavorables.

### **8.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

No hay duda de que los centros hospitalarios, por las actividades que en ellos tienen lugar, son un tipo de equipamiento urbano especialmente sensible al ruido que demanda una atmósfera sonora de calidad (*i. e.* de baja intensidad), en virtud de lo cual lo primero que cabe preguntarse es ¿cuál es el entorno acústico de los hospitales madrileños?, es decir, ¿qué niveles sonoros se soportan en las inmediaciones de cada centro? A partir de ahí

cabría indagar si tales niveles sonoros son adecuados a las actividades y usos que allí se dan, es decir, ¿se exceden los valores de ruido aceptables? Y, en caso afirmativo, ¿en qué lugares? Las respuestas, obviamente, son importantes desde el punto de vista de la eventual alteración de la eficacia de los tratamientos de los pacientes internos, de su capacidad de mejora y descanso, así como de la salud de los especialistas y demás trabajadores del centro, visitantes, etc. En definitiva, se trata de abordar el diagnóstico de la calidad ambiental sonora de los entornos hospitalarios.

De manera más específica, cabe plantearse aquí los siguientes objetivos concretos:

A) Afrontar la determinación y caracterización del entorno acústico de los centros hospitalarios del municipio de Madrid que, por la población que alberga, se convierte en referencia para otros municipios.

B) Proponer, ensayar y discutir una metodología válida para conocer los atributos del ambiente sonoro que rodea a los hospitales y la variación temporal del mismo, valorando las ventajas e inconvenientes de ella. Por extensión, dicha metodología se vislumbra que pueda ser apta para otros tipos de equipamientos urbanos.

C) Analizar comparativamente los centros hospitalarios según los atributos del ambiente sonoro que les rodea y la variación temporal del ruido que les afecta. Conocer qué variaciones espaciales tienen lugar entre los hospitales de Madrid, qué oscilaciones temporales diarias afloran entre unos y otros, si existen unas situaciones mejores o peores y qué tendencias y valores extremos cabe identificar.

D) Examinar el cumplimiento de los límites recomendados por la normativa sobre el ruido urbano en Madrid para el caso de los centros hospitalarios y en qué zonas se excede en mayor grado el nivel conveniente, para los diferentes periodos temporales considerados.

E) Valorar críticamente las diferentes fuentes de información empleadas: Catálogo de Hospitales de la Comunidad de Madrid y Plano Acústico de Madrid de 2002.

F) En fin, realizar una contribución preliminar, basada en los datos sonoros del plano acústico de la capital y en el empleo de las herramientas de los SIG, encaminada hacia la identificación y posterior evaluación de la incidencia potencial que tiene el ruido ambiental sobre la población del municipio de Madrid. Con ello se intenta fomentar el empleo de los planos acústicos como una herramienta de análisis y gestión municipal y para la mejora de la calidad de vida y salud de las personas.

### **8.2.3. MARCO CONCEPTUAL**

Siendo el objeto de estudio el entorno acústico de los centros hospitalarios, es procedente realizar un breve preámbulo terminológico para indicar adecuadamente a qué elementos se está haciendo referencia, definiendo cada uno de ellos.

#### **8.2.3.1. Centros hospitalarios**

En primer lugar, el equipamiento urbano considerado va a corresponder a un tipo de centros sanitarios<sup>41</sup> en los que las personas asistidas o pacientes precisen de una estancia más o menos prolongada en el tiempo, a lo largo de la cual pueden convertirse en potenciales sujetos perceptores de ruido, con la consiguiente posible molestia e influencia sobre el tratamiento y/o recuperación que estén llevando a cabo. Respecto a esta situación de permanencia, la normativa autonómica<sup>42</sup>, con competencias en materia de sanidad, en la *Orden de 11 de febrero de 1986, de la Consejería de Salud y Bienestar Social de la Comunidad de Madrid, sobre centros, servicios y establecimientos sanitarios*, define un centro asistencial con internamiento<sup>43</sup> como “centro asistencial de carácter sanitario que tenga por finalidad primordial la prestación en el mismo de cualquier tipo de asistencia con internamiento de personas por períodos superiores a veinticuatro horas en el establecimiento”.

Según la citada norma<sup>44</sup>, este es el caso de los hospitales y hospitales generales, clínicas médico-quirúrgicas y hospitales de cuidados mínimos de media y larga estancia, a diferencia de los centros asistenciales sin internamiento<sup>45</sup>, léanse<sup>46</sup> centros de salud (centros de atención primaria y centros ambulatorios especializados), consultorios, hospitales de día, locales de asistencia médica en instalaciones de espectáculos públicos, unidades de cirugía ambulatoria, centros de interrupción voluntaria del embarazo, etc.<sup>47</sup>

---

<sup>41</sup> El Real Decreto 1277/2003, de 10 de octubre, por el que se establecen las bases generales sobre autorización de centros, servicios y establecimientos sanitarios, en su art. 2.1.a) define centro sanitario como “conjunto organizado de medios técnicos e instalaciones en el que profesionales capacitados, por su titulación oficial o habilitación profesional, realizan básicamente actividades sanitarias con el fin de mejorar la salud de las personas”.

<sup>42</sup> La Comunidad de Madrid tiene atribuida en materia de sanidad interior la competencia del desarrollo legislativo, en el marco de la legislación básica del Estado, incluida la potestad reglamentaria y de ejecución, de acuerdo con el art. 27.4. de su Estatuto de Autonomía (Ley Orgánica 3/1983). Por ello y, mediante el Real Decreto 1359/1984, de 20 de junio, se transfirieron a la Comunidad de Madrid determinadas funciones y servicios en esta materia.

<sup>43</sup> Ver su Anexo I Tipos de centros, apdo. 1.0.1.

<sup>44</sup> Ver su Anexo I Tipos de centros, 1. Definiciones y tipos de centros, apdo. 1.1.

<sup>45</sup> “Tendrá la consideración legal de centro asistencial sin internamiento todo establecimiento que tenga por finalidad primordial la promoción de la salud y la asistencia sanitaria, no disponiendo de camas estables para el internamiento superior a doce horas de personas atendidas” (Anexo I Tipos de centros, apdo. 1.1.1.).

<sup>46</sup> Ver su Anexo I Tipos de centros, 1. Definiciones y tipos de centros, apdo. 1.2.

<sup>47</sup> Con posterioridad a la norma indicada se han ido incluyendo nuevas tipologías de centros, como es el caso de las unidades de cirugía ambulatoria, centros de interrupción voluntaria del embarazo, etc., establecidas en el Anexo I de

El ordenamiento legal<sup>48</sup> indica que los centros sanitarios de mayor entidad que cumplen el anterior criterio de internamiento son los hospitales<sup>49</sup>. Por otra parte, ante la variada casuística observada al revisar la normativa, en lo que a su nomenclatura se refiere (centros de asistencia hospitalaria, centros sanitarios hospitalarios, centros sanitarios asistenciales hospitalarios, etc.), se ha decidido adoptar la terminología de *centro hospitalario* u *hospital* al referirse al equipamiento urbano aquí estudiado, por lo que estos serán los términos empleados.

Así pues, el interés de tales centros no radica sólo por el tipo de oferta asistencial sanitaria y tratamientos que prestan sino, especialmente, a su capacidad de internamiento, frente a otros centros como puedan ser los consultorios o enfermerías, por ejemplo.

En la citada *Orden de 11 de febrero de 1986*, en la que se establece una tipología de centros sanitarios<sup>50</sup>, se define hospital como “*establecimiento sanitario que presta servicios de diagnóstico y tratamiento mediante un staff profesional de al menos médicos y enfermeras en un espacio físico inmueble y de uso exclusivamente sanitario, con al menos 20 camas a pacientes en régimen de internamiento. Por régimen de internamiento se entiende que el contacto entre el usuario de los servicios del hospital y el propio hospital requiere que ese usuario ocupe una cama durante, al menos, veinticuatro horas seguidas*”.

Es de rigor también citar el *Real Decreto 1277/2003, de 10 de octubre, por el que se establecen las bases generales sobre autorización de centros, servicios y establecimientos sanitarios*, cuyo Anexo II Definiciones de centros, unidades asistenciales y establecimientos sanitarios, Centros sanitarios, apdo. C.1, hace la siguiente definición de “*Hospitales (centros con internamiento): centros sanitarios destinados a la asistencia especializada y continuada de pacientes en régimen de internamiento (como mínimo una noche), cuya finalidad principal es el diagnóstico o tratamiento de los enfermos ingresados en éstos, sin perjuicio de que también presten atención de forma ambulatoria*”.

Por otra parte, la *Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad*, en su Título III: *De la estructura del sistema sanitario público, Capítulo III: De las Áreas de Salud*, art. 65.2., indica que “*El hospital es el establecimiento encargado tanto del internamiento clínico como de la asistencia especializada y complementaria que requiera su zona de influencia*”.

---

la Orden 1131/1994, de 21 de noviembre, de la Consejería de Salud de la Comunidad de Madrid, de incorporación y definición de nuevas tipologías a la Orden de 11 de febrero de 1986.

<sup>48</sup> Decreto 110/1997, de 11 de septiembre, de la Consejería de Sanidad y Servicios Sociales de la Comunidad de Madrid, sobre autorizaciones de los centros, servicios y establecimientos sanitarios, art. 2.1.

<sup>49</sup> Ver también el Decreto 110/1997, de 11 de septiembre, de la Consejería de Sanidad y Servicios Sociales de la Comunidad de Madrid, sobre autorizaciones de los centros, servicios y establecimientos sanitarios, en cuyo art. 2.1. (Definiciones) dice que “A los efectos de este Decreto se consideran centros, servicios y establecimientos sanitarios: a) Los centros con internamiento, como son los de asistencia hospitalaria, generales o especiales, así como las unidades que lo componen. [...]”.

<sup>50</sup> Ver su Anexo I Tipos de centros, 1. Definiciones y tipos de centros.

### 8.2.3.2. Entorno acústico

Se podría describir *entorno* como una porción del espacio, en relación con una referencia espacial respecto de la cual se considera, es decir, a la que rodea (Real Academia Española de la Lengua, 2001). Por ejemplo, el entorno visual de un punto o lugar determinado se refiere al espacio que se puede divisar desde dicho punto. Si bien la vista es el sentido humano más desarrollado, no es el único que aporta información del medio, de modo que también es posible hablar de entorno sonoro, olfativo, etc., entroncando con teorías como las de la percepción paisajística. Por otra parte, los términos *acústico* o *sonoro* hacen referencia a la existencia de sonido en el ambiente.

Por tanto, el entorno acústico de un equipamiento urbano está haciendo referencia a la porción del espacio que rodea a dicho equipamiento, considerada como su entorno significativo, de cara a la caracterización acústica del mismo. O lo que es lo mismo, el ámbito o ambiente sonoro en el que se ubica, caracterizado por unos niveles sonoros con una distribución determinada en el tiempo y en el espacio, significativos para el punto o lugar de referencia (cada hospital) y las actividades que en él se dan.

Lo anterior tiene cierta similitud con el planteamiento normativo, el cual hace una consideración acústica de las zonas urbanas según su uso, indicando que las zonas de uso sanitario corresponden a “áreas acústicas de Tipo I (Áreas de silencio)”, a las que dota de mayor protección contra el ruido, en la medida en que los límites sonoros legales permitidos en ella son los más restrictivos.

Precisando el término “área acústica”, según la *Ley 37/2003, del Ruido*, éste hace referencia a un ámbito territorial delimitado por la Administración, que presenta el mismo objetivo de calidad acústica (*vid.* apartado 4.2.). Y por “calidad acústica” se entiende el grado de adecuación de las características acústicas de un espacio a las actividades que se realizan en el mismo, es decir, vendría a ser la adecuación o apropiación de un sonido a un contexto, tarea o situación específica, dando por hecho que la calidad sonora no es una propiedad inherente al sonido, sino resultado, también, de los juicios emitidos por los sujetos que lo valoran (García Sanz y Javier Garrido, 2003). No hay duda de que los *entornos acústicos* que serán considerados en este estudio tienen cierta similitud, en cuanto a criterios, con las recién citadas *áreas acústicas* (definidas según la tolerancia de los distintos usos del suelo urbano).

A partir de estas nociones de base, una de las primeras tareas a desarrollar en este trabajo consistirá en formular una versión operativa del entorno acústico de los hospitales que, a partir de la representación digital de dichos equipamientos y de las medidas de ruido, posibiliten una caracterización que resulte apropiada para el caso. A ello se dedican los siguientes apartados.



#### **8.2.4. DETERMINACIÓN DEL ENTORNO ACÚSTICO DE LOS CENTROS HOSPITALARIOS: PROPUESTAS METODOLÓGICAS**

A continuación se describen y discuten las cuestiones metodológicas planteadas y la lógica procedimental para el diagnóstico del entorno acústico de los centros hospitalarios (a través de la determinación de un valor acústico representativo, imputable a dicho entorno). Se examinarán diferentes posibilidades técnicas y se realizará una valoración crítica de sus fortalezas y debilidades o limitaciones. Fundamentalmente se ha empleado la tecnología SIG como instrumento para gestionar y analizar la información a través de un modelo de datos vectorial, con el programa informático ArcGIS. La información cartográfica digital con la que se ha trabajado ha sido adecuadamente proyectada y georreferenciada.

##### **8.2.4.1. Definición del modelo de datos y fuentes**

Cómo venga dada y se estructure la geoinformación influye sobremanera a la hora de planificar, diseñar y decidir los procedimientos metodológicos y analíticos a seguir. En este caso la información fundamental se corresponde con la relativa a los centros hospitalarios por un lado y la acústica por otro.

##### ***8.2.4.1.1. Los centros hospitalarios***

En España, todos los centros sanitarios autorizados por las comunidades autónomas se encuentran recogidos en el *Registro general de centros, servicios y establecimientos sanitarios*<sup>51</sup> (gestionado bajo la responsabilidad del Ministerio de Sanidad y Consumo<sup>52</sup>), de carácter público e informativo y en el que existe diversa información actualizada relativa a cada uno de ellos. Periódicamente se publica un *Catálogo de centros, servicios y establecimientos sanitarios*<sup>53</sup> en funcionamiento que han recibido autorización por parte de las administraciones sanitarias. En el caso de la Comunidad de Madrid, la Consejería de Sanidad y Consumo<sup>12</sup> publica el *Catálogo de Hospitales de la Comunidad de Madrid* con los hospitales civiles públicos o privados<sup>54</sup> en funcionamiento a 31 de diciembre de cada año. Éste recoge información diversa sobre cada centro, tal como un código de centro o número

---

<sup>51</sup> Ver Real Decreto 1277/2003, de 10 de octubre, por el que se establecen las bases generales sobre autorización de centros, servicios y establecimientos sanitarios.

<sup>52</sup> Institución que posteriormente ha adquirido distintas denominaciones oficiales tras las sucesivas reestructuraciones orgánicas.

<sup>53</sup> Ver Real Decreto 1277/2003, art. 5.5. y la Orden 250/1994, de 16 de marzo, de la Consejería de Salud de la Comunidad de Madrid, por la que se regula la finalidad, organización y funcionamiento del Registro de Centros, Servicios y Establecimientos Sanitarios, modificada en determinados artículos por la Orden 621/2002, de 8 de agosto, de la Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid.

<sup>54</sup> Ver Decreto 110/1997, de 11 de septiembre, de la Consejería de Sanidad y Servicios Sociales de la Comunidad de Madrid, sobre autorizaciones de los centros, servicios y establecimientos sanitarios, art. 1.2.

de registro<sup>55</sup> (e. g. “CH0034”), nombre y tipo de centro, dirección y código postal, zona sanitaria, dependencia patrimonial y funcional, finalidad asistencial, número de camas, etc.

El Catálogo de Hospitales constituye una herramienta de indudable valor e interés para la realización de este estudio, por lo que se obtuvo dicha información (correspondiente a la fecha 31 de diciembre de 2003<sup>56,57</sup>) del Gobierno regional, como un fichero digital de tipo Microsoft Excel en el que están recogidos un total de 55 centros hospitalarios en el municipio de Madrid, tanto públicos como privados. En él se incluye la ubicación espacial de cada centro por medio de sus respectivas coordenadas UTM (X, Y). Tras un pre-proceso, se exportó a formato “DBF” (data base file), de manera que se pudiera consultar y tratar en un entorno SIG y poder construir un archivo cartográfico de tipo vectorial (shapefile) en el que se pudiesen visualizar a modo de puntos los diferentes centros hospitalarios, georreferenciados en el espacio y con toda su información asociada en su tabla de atributos.

Con todo ello, la configuración y lógica geométrica que se plantean respecto a la representación digital de esta información son como sigue:

#### **A) Los centros hospitalarios como puntos**

A partir de la información de localización espacial de equipamientos urbanos, en este caso centros hospitalarios, basada en coordenadas UTM (X, Y), que es la proporcionada por la Consejería de Sanidad y Consumo, se puede obtener una transcripción espacial de los mismos en forma de puntos. Parece razonable pensar que una representación puntual de la información puede facilitar las tareas de gestión por parte de la Administración sanitaria correspondiente, sobre todo con vistas a su registro. Sin embargo, ello lleva implícito una serie de limitaciones, pues supone una simplificación de la información real (parcela poligonal que realmente ocupa el centro sanitario sobre el parcelario urbano) y, por otra parte, se asume que las coordenadas que lo ubican espacialmente son las correctas, siendo de presuponer que la manera más aproximada de ubicar el punto va a ser en lo que sería el centro geométrico del polígono al que realmente representa. Tras realizar las comprobaciones oportunas y superponer la capa de puntos (hospitales) que fue suministrada con una de polígonos del parcelario urbano de Madrid, se observó que los primeros no se correspondían con tales centros geométricos, sufriendo ciertos desplazamientos, en algunos casos ciertamente significativos (por ejemplo, frecuentemente los puntos están ubicados próximos a la entrada principal del hospital). Se ha asumido la representatividad provisional

---

<sup>55</sup> Éste se construye según se indica en el art. 3 de la citada *Orden 250/1994*.

<sup>56</sup> La más actualizada posible en el momento de efectuar la petición, y próxima a la fecha a la que corresponden los datos de niveles sonoros con los que el Ayuntamiento de Madrid realizó el Plano Acústico de 2002, los cuales constituyen la fuente de información fundamental en este estudio.

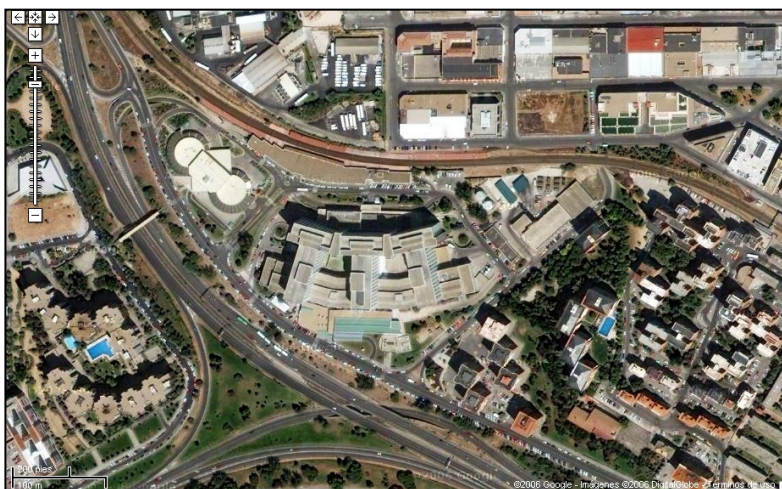
<sup>57</sup> Se desea agradecer a la Consejería de Sanidad y Consumo de la Comunidad de Madrid por los datos hospitalarios facilitados para la realización de este estudio.

de tal ubicación de los puntos por parte de la Administración, con objeto de someterla a examen crítico en este trabajo.

### **B) Los centros hospitalarios como polígonos (parcelas)**

La otra opción es que este tipo de equipamiento urbano venga representado no como una entidad puntual, sino poligonal, que se corresponda con la parcela que ocupe sobre el terreno. Como ya se ha mencionado, no ha sido posible obtener esta información de la mano de las instituciones públicas, aunque sí se ha dispuesto de un archivo con el parcelario según la cartografía catastral digital urbana del municipio de Madrid de 2003, de la Gerencia Regional del Catastro de Madrid (proporcionado por el Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid). Esta alternativa ha requerido identificar en dicho parcelario el polígono correspondiente al centro hospitalario (véanse las figuras 8.1. y 8.2. como ejemplo), con la ayuda de la consulta en Internet de imágenes de satélite/ortofotografías, cartografía digital y fotografías digitales de las fachadas de edificios (en portales como el visor *IBERPIX* del IGN, *NOMECALLES Nomenclátor Oficial y Callejero* de la Comunidad de Madrid, *Google Maps España*, *Páginas Amarillas*, etc. y las páginas web de los propios hospitales), así como visitas de campo para comprobación.

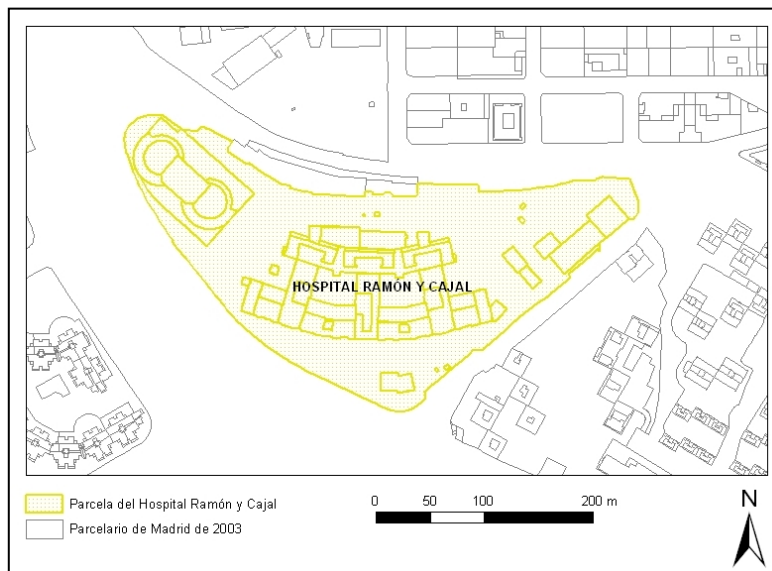
Figura 8.1. Identificación del Hospital Ramón y Cajal.



*Fuente: Google Maps España, 2006.*

Se trata ésta de la representación más fiel del espacio urbano que realmente ocupa el equipamiento aunque, como es fácilmente imaginable, esta opción resulta ardua y requiere de un ingente tiempo de elaboración.

Figura 8.2. Identificación de la parcela del Hospital Ramón y Cajal en el parcelario urbano de Madrid, a partir de la imagen de la figura 8.1.



*Fuente: elaboración propia con datos de la cartografía catastral digitalizada urbana del municipio de Madrid de 2003.*

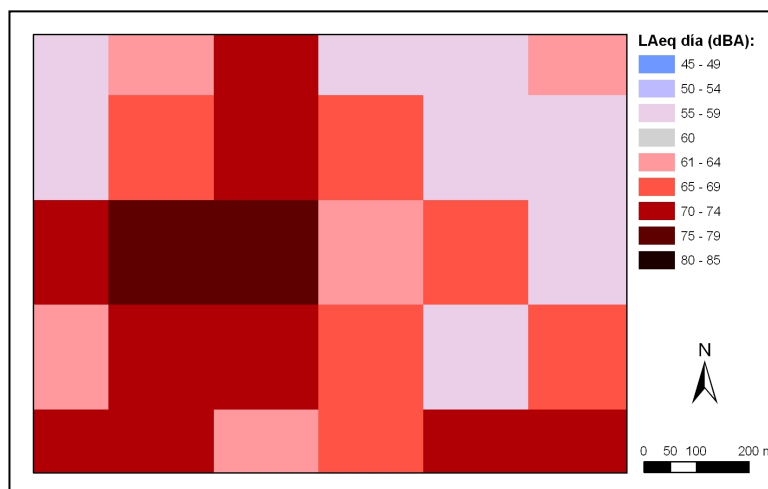
#### **8.2.4.1.2. La información sonora**

La fuente de los datos sonoros corresponde al Plano Acústico de Madrid de 2002. Por lo que se refiere a esta información acústica como modelo de geodatos, se plantean las dos posibilidades que se exponen seguidamente:

##### **A) La información sonora como cuadrados (polígonos)**

De forma breve cabe señalar que el Plano Acústico de Madrid se configura como una malla ortogonal regular (según se indicó en el apartado 6.2.3.5.) que cubre la mayor parte del área urbanizada del municipio, en la que cada cuadrado mide 200 m de lado, a excepción de un grupo de cuadrados sobre el distrito de Centro, que son de 100 m de lado. Cada cuadrado de la cuadrícula tiene asociados unos niveles sonoros según los diferentes periodos temporales considerados en virtud de la normativa vigente en el momento de su realización: 24 horas, diurno (de 7 a 23 h) y nocturno (de 23 a 7 h). Dicha información sonora se asume representativa para el área cubierta por cada cuadrado (ver figura 8.3.). El indicador sonoro adoptado en el Plano para caracterizar el ambiente acústico es el  $L_{Aeq}$  (nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A), correspondiente a un determinado periodo de medición (24 horas, diurno o nocturno) y expresado en decibelios (dBA).

Figura 8.3. Detalle de la representación poligonal de los niveles acústicos de Madrid para el periodo diurno.



*Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

En los centros sanitarios, sobre todo en los que se ubican en entornos ruidosos durante la noche, la contaminación acústica puede incidir en el descanso y en el sueño del paciente, pudiendo perturbar la eficacia de los tratamientos o dificultar la recuperación. Es por este motivo por el que, además del  $L_{Aeq\text{ día}}$ , se ha incluido en el análisis el indicador acústico  $L_{Aeq\text{ noche}}$ <sup>58</sup>, siendo por tanto los periodos temporales considerados dos, el diurno y el nocturno.

Este tipo de representación aporta una cierta facilidad de interpretación visual, tanto de la distribución de la información acústica en sí, como al relacionar ésta con cualquier tipo de equipamiento urbano que se superponga. Sin embargo, es preciso añadir que el diseño del Plano Acústico, en lo que a la geometría cuadriculada de la información sonora se refiere, puede suponer un encorsetamiento o limitación a la capacidad del análisis contemplado en este estudio (como ya se mencionó en el apartado 6.2.3.6., donde se valoraba críticamente el Plano Acústico de Madrid).

Resulta importante precisar también que los datos de niveles sonoros contenidos en el Plano Acústico de Madrid de 2002 son enteros, resultantes de un redondeo, a pesar de que inicialmente se registrasen con varios decimales provenientes de las mediciones del sonómetro y/o del postproceso de los datos capturados durante la campaña de toma en campo. Lo deseable habría sido mantener al menos un decimal, consiguiendo con ello una precisión adecuada para la realización de análisis de este corte. Por tanto, este proceso de generalización de la información sonora supone un cierto grado de inexactitud aquí no enmendable.

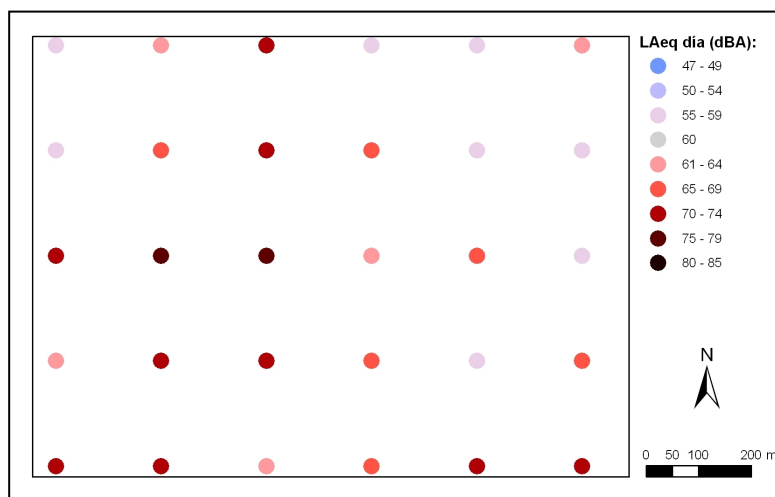
<sup>58</sup> Según la *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*, el "L night" constituye un indicador común a todos los Estados miembros, para evaluar las alteraciones del sueño.

## **B) La información sonora como puntos (centroides)**

Para el diseño y ejecución del Plano Acústico de Madrid se realizó una campaña de muestreo con un punto de medición por cuadrado, localizándose éste en la medida de lo posible sobre el viario urbano, de manera que los valores de niveles sonoros allí registrados se asignaron al conjunto de todo el cuadrado en el que se ubicaba, por generalización. No se dispone de la localización exacta de tales puntos muestrales, de hecho. En virtud de ello, una manera de representar la información sonora puede ser mediante puntos que, a falta de los muestrales, pueden considerarse los centroides de cada cuadrado, como alternativa más adecuada. Evidentemente, cada punto llevaría asociados los niveles sonoros asignados al cuadrado entero del que es centroide. Si la longitud del lado de cada cuadrado del Plano Acústico es de 200 m, por lógica, la separación entre centroides será igualmente de 200 m, excepto en el ya mencionado caso del distrito de Centro, que será de 100 m.

Procedimentalmente, los SIG ofrecen herramientas que permiten, a partir de un archivo cartográfico de polígonos (como es el correspondiente al Plano Acústico), construir fácilmente otro de puntos que sean los centroides de dichos polígonos, manteniendo la información, en este caso de niveles sonoros, asociada en su tabla de atributos. El resultado es el de la figura 8.4.

Figura 8.4. Detalle de la representación puntual de los niveles acústicos de Madrid para el periodo diurno, correspondiente a la misma zona que la figura 8.3.



*Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

Frente a la opción anterior, hay que decir que, aunque en este caso disminuye la capacidad de interpretación visual, el cambio en la tipología de elementos de representación resulta más conveniente para cierto tipo de tratamiento posterior de la información mediante SIG, por lo que será adoptado para nuestros fines aquí.

El anteriormente comentado encorsetamiento que supone la información del Plano Acústico, la falta de conocimiento de la localización exacta de los puntos muestrales a partir de los cuales se elaboró, y la desafortunada generalización de los datos sonoros a través del redondeo, no menoscaban el valor que el Plano posee, sino que se considera una meritoria fuente de información para la fecha.

#### 8.2.4.2. Métodos para la determinación del entorno acústico e imputación de indicadores del Plano Acústico a los equipamientos

Plantearse examinar el entorno acústico de los centros hospitalarios supone determinar una porción del espacio que rodea a cada hospital, considerada como su entorno significativo, de cara a la caracterización acústica del mismo.

La complejidad del concepto de entorno acústico reside en la dificultad para fijar sus límites, es decir, en aplicar un criterio para decidir a partir de qué lugares los niveles sonoros dejan de ser significativos de cara a la caracterización del entorno en el que se ubica un equipamiento concreto donde se realizan determinadas actividades. En la mayoría de las ocasiones seguramente será posible observar una gradación, y las fronteras serán difusas.

Sin dejar de tener en cuenta esta limitación, la consideración del entorno acústico de este tipo de equipamientos ha estado condicionada fundamentalmente por dos factores: el detalle espacial del estudio y, sobre todo, la estructuración de la información sonora disponible.

Ya se ha comentado que los procedimientos adoptados aquí pasan por el empleo preferente de la información de centros hospitalarios a modo de puntos. Así, las posibilidades más prácticas acerca de cómo determinar el entorno acústico de cada hospital, o lo que es lo mismo, asignar a cada hospital el nivel sonoro de su entorno, con sus ventajas e inconvenientes, serían como se describe a continuación.

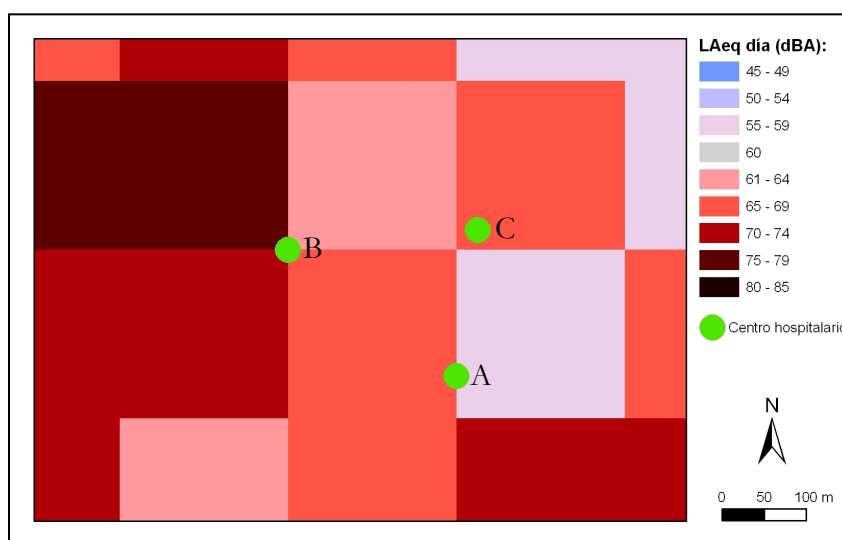
##### *8.2.4.2.1. Método 1: dato sonoro más próximo al hospital*

Consiste en asignar a cada centro hospitalario el dato sonoro más próximo disponible, *i. e.* el correspondiente al cuadrado del Plano Acústico en el que se ubica espacialmente, asumiendo que va a ser el que mejor caracterice su entorno acústico, es decir, el que represente con mayor fidelidad el nivel sonoro del entorno próximo. Por tanto, en este método se va a partir de una representación de los centros hospitalarios de tipo puntual, mientras que en el caso de los niveles sonoros del Plano Acústico de Madrid será de tipo poligonal.

Procedimentalmente, para asignar a cada hospital el nivel sonoro de su entorno asociándolo al cuadrado sonoro dentro del que se ubica, las herramientas SIG permiten efectuar una unión espacial de ambas capas de información, tras la que se obtiene un archivo cartográfico de tipo puntual de hospitales, cuya tabla de atributos asociada contiene no sólo la información hospitalaria, sino que le ha resultado añadida la correspondiente a la acústica. Es decir, a cada registro (hospital) se le ha asignado la información sonora de su cuadrado continente y es posible consultar qué niveles sonoros soporta durante el periodo diurno, nocturno, etc. Si dos o más puntos de hospitales se ubican dentro de un mismo cuadrado, a ambos se les asignarán los niveles sonoros de éste.

Como ilustra la figura 8.5., las únicas situaciones extremas podrían darse en los hipotéticos casos en los que un hospital se localizara exactamente en un borde de separación entre dos cuadrados (caso "A") o bien en un vértice en el que confluyen cuatro cuadrados (caso "B"), situaciones poco probables (su inexistencia fue comprobada).

Figura 8.5. Casuística de localización de hipotéticos hospitales en los cuadrados del Plano Acústico.



*Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

La ventaja de este método estriba en su simplicidad, pues usa sólo un dato sonoro, el más próximo. Sin embargo, un hospital real no es un punto, sino toda una parcela (por ejemplo, una manzana entera) sobre la que puede influir el ruido dentro de todo su perímetro, si bien ello viene condicionado, como ya se ha comentado, por la disponibilidad de la información. Por otra parte, al considerar solamente el cuadrado en el que se ubica el centro hospitalario y discriminar el resto de cuadrados cercanos, este método supone quedarse quizás con sólo una parte de toda la información que podría ser capaz de aportar el Plano Acústico en las inmediaciones, por lo que resulta un procedimiento bastante limitado. Así, si el hospital se encuentra próximo a una de las esquinas (ver figura 8.5., caso "C"), y sin conocer la localización de los puntos muestrales escogidos para la realización del



Plano Acústico, no se sabe en qué grado la información sonora que se está asignando al hospital es la más representativa. También supone asumir el riesgo de que se estén imputando al hospital los valores sonoros correspondientes a un cuadrado que, por cualquier motivo, pudiera resultar ser un caso anómalo. Desgraciadamente, estas limitaciones son inherentes al propio Plano Acústico como fuente.

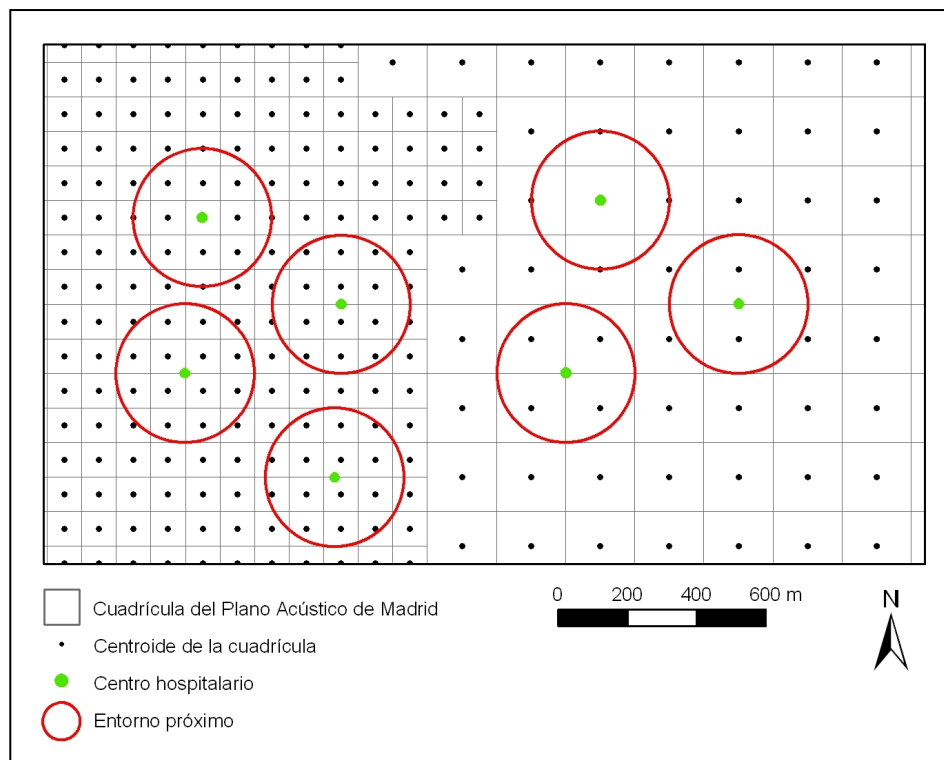
#### *8.2.4.2.2. Método 2: datos sonoros dentro de un entorno próximo al hospital*

En este caso, la representación tanto para el caso de los centros hospitalarios como de los niveles sonoros (centroides) del Plano Acústico de Madrid es de tipo puntual; ello implica que en las proximidades de cada hospital va a haber una serie de puntos con datos sonoros, más o menos cercanos. Así pues, este método consiste en asignar a cada centro hospitalario el promedio de los datos sonoros más próximos disponibles incluidos dentro del entorno cercano, considerándose que, debido precisamente a su proximidad, van a ser los que caractericen más fielmente el entorno acústico del hospital. A tal fin, operativamente se estableció un círculo alrededor del hospital que englobase a dichos centroides. Se consideró apropiado para ello un radio de 200 m, siendo su superficie por tanto de 12,57 ha.

La casuística de situaciones que se pueden presentar, dada la estructura de la malla del Plano Acústico (con una distancia de separación inter-centroides mínima de 200 m), es la que se esquematiza geométricamente en la figura 8.6. Ello implica que va a haber siempre centroides a una distancia menor o igual a 200 m de cada hospital y que el número de éstos considerados en el entorno próximo va a oscilar entre 2 y 5 (si el hospital se ubica exclusivamente sobre cuadrados de 200 m de lado) o entre 12 y 14 (si el hospital se ubica exclusivamente sobre cuadrados de 100 m de lado, en la zona del distrito de Centro).

Técnicamente, para asignar a cada hospital (puntos) el nivel sonoro de su entorno, calculable a partir de los centroides próximos de los cuadrados del Plano Acústico (*i. e.* a una distancia menor o igual a 200 m de cada centro hospitalario), el primer paso es construir en el SIG una nueva capa con los entornos próximos, a modo de *buffers* de 200 m de radio alrededor de cada punto-hospital, los cuales deben heredar la tabla de atributos de los centros hospitalarios (nombre, dirección, coordenadas, etc.). A continuación, se debe realizar la unión espacial de la capa de centroides del Plano Acústico con la recién creada capa de entornos próximos (unión de puntos a polígonos), especificando en las opciones disponibles que simultáneamente se calculen varios estadísticos básicos a partir de los centroides que queden dentro de cada área próxima: máximo, mínimo y media, que ayudarán a un posterior análisis de la misma. Así, una manera conveniente para caracterizar cada entorno acústico podría ser a través de dicha media y de estadísticos como la amplitud total (máximo-mínimo), que pueden aportar información acerca de la variabilidad sonora existente.

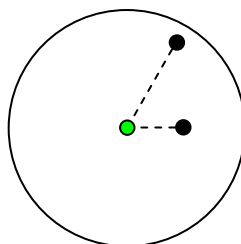
Figura 8.6. Casuística de situaciones de asignación de puntos con dato sonoro al entorno próximo del hipotético centro hospitalario, según los diferentes tamaños de cuadrados del Plano Acústico de Madrid de 2002.



*Fuente: elaboración propia.*

A nuestro juicio este método resulta mucho más recomendable que el anterior, al estar considerando no solamente un dato sonoro, sino un conjunto de ellos, los más próximos, pertenecientes a toda el área cercana. Así, se dota de mayor rigor a la hora de caracterizar el entorno acústico de cada hospital, obteniendo un mayor aprovechamiento de la información que aporta el Plano Acústico de Madrid y minimizando el riesgo que supone asociar el centro hospitalario a un único dato sonoro. En definitiva, es un método más completo, al incorporar una visión más amplia del entorno de cada hospital. Sin embargo, al igual que sucede en el método anterior, un hospital real no es un punto, sino toda una parcela, por lo que se estaría presentando esta misma limitación, ligada a la propia procedencia de la información suministrada, como ya se ha comentado anteriormente. Y continuando con la autocrítica, una alternativa quizás aún más realista a este método, en vez de tomar en cuenta la media aritmética simple de los centroides de ruido contenidos en cada *buffer* alrededor del hospital, podría ser la del empleo de alguna ponderación en función de la distancia del centroide de ruido al hospital (media ponderada según la distancia), dado que ejercen mayor influencia los centroides más próximos frente a los más lejanos, dentro del *buffer* (ver figura 8.7.), mientras que de la otra manera se les está dando igual importancia.

Figura 8.7. Esquema de una hipotética ponderación según la distancia de los centroides de ruido (en negro) al hospital (en verde), dentro del *buffer* que define su entorno sonoro.



*Fuente: elaboración propia.*

#### 8.2.4.3. Análisis estadístico de la información del entorno acústico

Una vez definidos y determinados los entornos acústicos de los centros hospitalarios, para interpretar y analizar la información sonora contenida en cada uno de ellos el siguiente paso metodológico requerirá del empleo de técnicas de estadística descriptiva univariada, tomando como variable independiente el nivel sonoro registrado.

A tal fin, se recurre a la elaboración de histogramas y al cálculo de estadísticos de centralidad y dispersión de los niveles sonoros imputados, que permitan poder caracterizar el entorno acústico de cada centro hospitalario.

### 8.2.5. Resultados

En este apartado se presentan y describen los diferentes tratamientos realizados y se comentan y discuten los resultados obtenidos tras la aplicación de los dos métodos propuestos.

#### 8.2.5.1. Distribución espacial de los hospitales y de los niveles sonoros ambientales: visualización de conjunto

Para comenzar a analizar gradualmente el entorno acústico de los centros hospitalarios se ha considerado elaborar, en primer lugar, un plano que muestre la superposición de los hospitales sobre el Plano Acústico de Madrid de 2002, tanto para el caso de los niveles sonoros diurnos (figura 8.8.) como nocturnos (figura 8.9.), representando además los distritos (que conforman la realidad administrativa del municipio de Madrid y que sirven de referencia para ubicar los distintos elementos).

Prestando atención a la capa temática compuesta por la cuadrícula que constituye el Plano Acústico, se puede observar cómo ésta aporta una visualización de la realidad del ambiente acústico general del municipio de Madrid, como se estudió en el apartado 7. La

base de datos de ruido oficial del Ayuntamiento es la que nutre este plano, con la información relativa al nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A, correspondiente a los periodos diurno ( $L_{Aeq \text{ día}}$ , de 7 a 23 h) y nocturno ( $L_{Aeq \text{ noche}}$ , de 23 a 7 h), expresado en decibelios (dBA), el cual es el indicador acústico empleado para describir el ruido ambiental. Para la representación de los datos del  $L_{Aeq \text{ día}}$  y  $L_{Aeq \text{ noche}}$  se ha adoptado la técnica de coropletas, agrupándolos en 9 clases con una amplitud de 5 dBA cada una, y empleando una escala dicromática desde el azul (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (más elevados).

Como puede observarse, las transiciones de los mencionados colores azules a los rojos pasan por un intervalo intermedio umbral representado en color gris, que recoge los niveles sonoros correspondientes a  $L_{Aeq \text{ día}} = 60$  dBA y  $L_{Aeq \text{ noche}} = 50$  dBA. La justificación no es otra que la de corresponder éstos a los valores límite<sup>59</sup> del nivel sonoro ambiental específicamente designados para los periodos diurno y nocturno en suelo urbano, para las áreas acústicas de Tipo I (Áreas de silencio) destinadas a usos sanitarios y de bienestar social, establecidos por la Ordenanza municipal (ver apartado 4.4.). De este modo, a través de esta representación gráfica se consigue mostrar, mediante la diferencia cromática entre las tonalidades azules y rojas, los cuadrados que presentan un nivel sonoro ambiental superior a dichos niveles (colores rojos), es decir, las que rebasan el valor límite establecido, y aquéllas otras cuyo nivel es inferior (colores azules), pudiendo determinar gráficamente las áreas de mayor impacto acústico. Y además, se muestran los cuadrados de color gris, que son aquéllos que se encuentran en el límite de incumplimiento de la normativa<sup>60</sup>.

En las figuras se ha añadido la ampliación de una zona contenida en la “almendra central” de Madrid para apreciar mejor sus niveles sonoros, en especial los del distrito de Centro (con una malla con cuadrados de dimensiones 100 m x 100 m), en donde además se ha superpuesto la planimetría con el trazado de las calles, como elemento de referencia añadido.

---

<sup>59</sup> El Estándar Internacional ISO 1996, Acústica - Descripción y medida del ruido ambiental, en su Parte 3: Aplicación para los límites de ruido, apartado 4. Especificación de los requerimientos del límite de ruido, aunque no especifica valores, indica que los límites de ruido pueden ser establecidos por las autoridades locales o nacionales en base a las consideraciones generales de compatibilidad con actividades humanas y usos del suelo, y que pueden depender de muchos factores, como el momento del día, las actividades, el tipo de fuentes de sonido y variaciones en su operación, así como factores meteorológicos, económicos y sociales. El descriptor del ruido preferido para la especificación de los límites es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado durante los intervalos de tiempo de referencia considerados.

<sup>60</sup> No hay que dejar de tener en cuenta que uno de los objetivos de los mapas acústicos, según el Anexo IV de Requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido de la Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, es el de analizar y comprobar el cumplimiento de los valores límite vigentes establecidos o aplicables, concretamente su superación o rebasamiento, por parte de los valores del índice acústico considerado ( $L_{Aeq \text{ día}}$  y  $L_{Aeq \text{ noche}}$ ) existentes. Es importante destacar la función del Plano Acústico como herramienta destinada a la planificación y gestión de la contaminación acústica. Recordando el art. 15 de la Ley 37/2003, del Ruido, en él se dice que los objetivos de los mapas serán, entre otros, a) Permitir la evaluación global de la exposición a la contaminación acústica de una determinada zona. b) Permitir la realización de predicciones globales para dicha zona. c) Posibilitar la adopción fundada de planes de acción en materia de contaminación acústica y, en general, de las medidas correctoras que sean adecuadas.

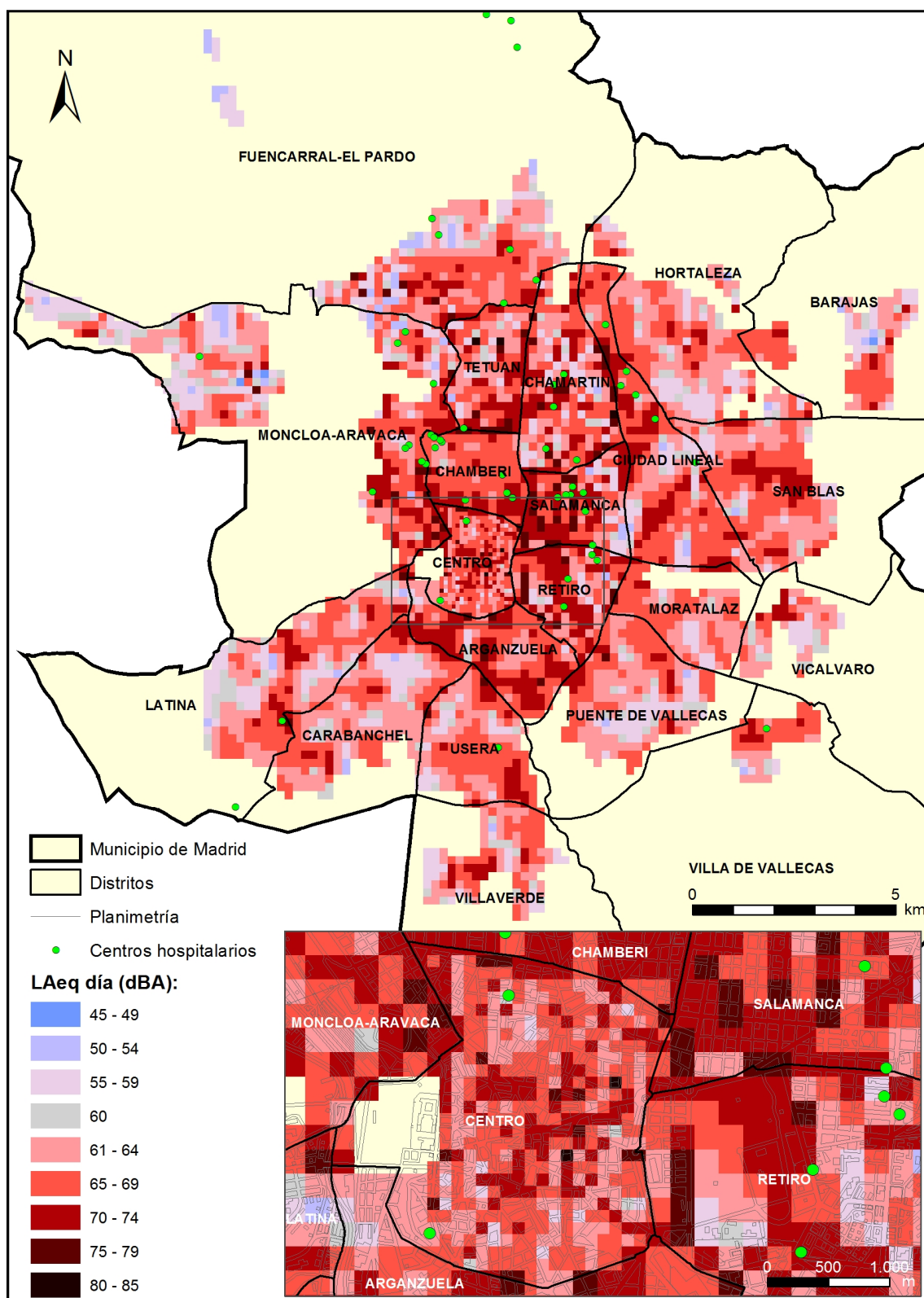
Es posible analizar visualmente las diferencias que presentan los niveles sonoros ambientales y apreciar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada. Así, a primera vista, tanto durante el periodo diurno como el nocturno se aprecia cómo en la mayor parte del área comprendida dentro de la “almendra central” de Madrid (aproximadamente el interior de la M-30) los niveles sonoros son elevados, al predominar claramente las tonalidades rojizas, mientras que en las zonas más próximas a la periferia la tendencia es más hacia un equilibrio con las tonalidades azuladas, tal cual se analizó en profundidad en el capítulo 7, por lo que no se le prestará mayor atención aquí.

Al superponer a esta representación gráfica la capa temática de hospitales, representados a modo de puntos verdes, se observa que prácticamente todos ellos se ubican sobre el terreno cubierto por la malla del Plano Acústico. De hecho, uno de los objetivos al diseñar éste último fue que cubriera la mayor parte del área urbanizada del municipio de Madrid. Por otra parte, los equipamientos hospitalarios, por la propia naturaleza de los servicios que prestan a la ciudadanía, deben ubicarse en el área urbanizada para estar más próximos a sus usuarios, lo que explica tal situación, lógica, por otra parte.

En cuanto a la distribución espacial de centros hospitalarios dentro del área urbanizada de Madrid, ésta es desigual, presentando una heterogeneidad a favor de la mitad norte, en detrimento de los distritos de la mitad sur. Realmente, existe una densa aglomeración en el interior, densificándose en la denominada “almendra central”, sobre todo en los distritos de Salamanca, Chamartín, Chamberí, Retiro y en los alrededores próximos: zona este de Moncloa-Aravaca, sudeste de Fuencarral-El Pardo y norte de Ciudad Lineal. A la vista de ello, se constata que existe un mayor número de hospitales en determinadas zonas de ensanche de Madrid en las que los niveles de renta y la capacidad adquisitiva de sus habitantes son mayores, a diferencia de las zonas periféricas, siendo algunos de sus distritos incluso aún más poblados que los anteriores.

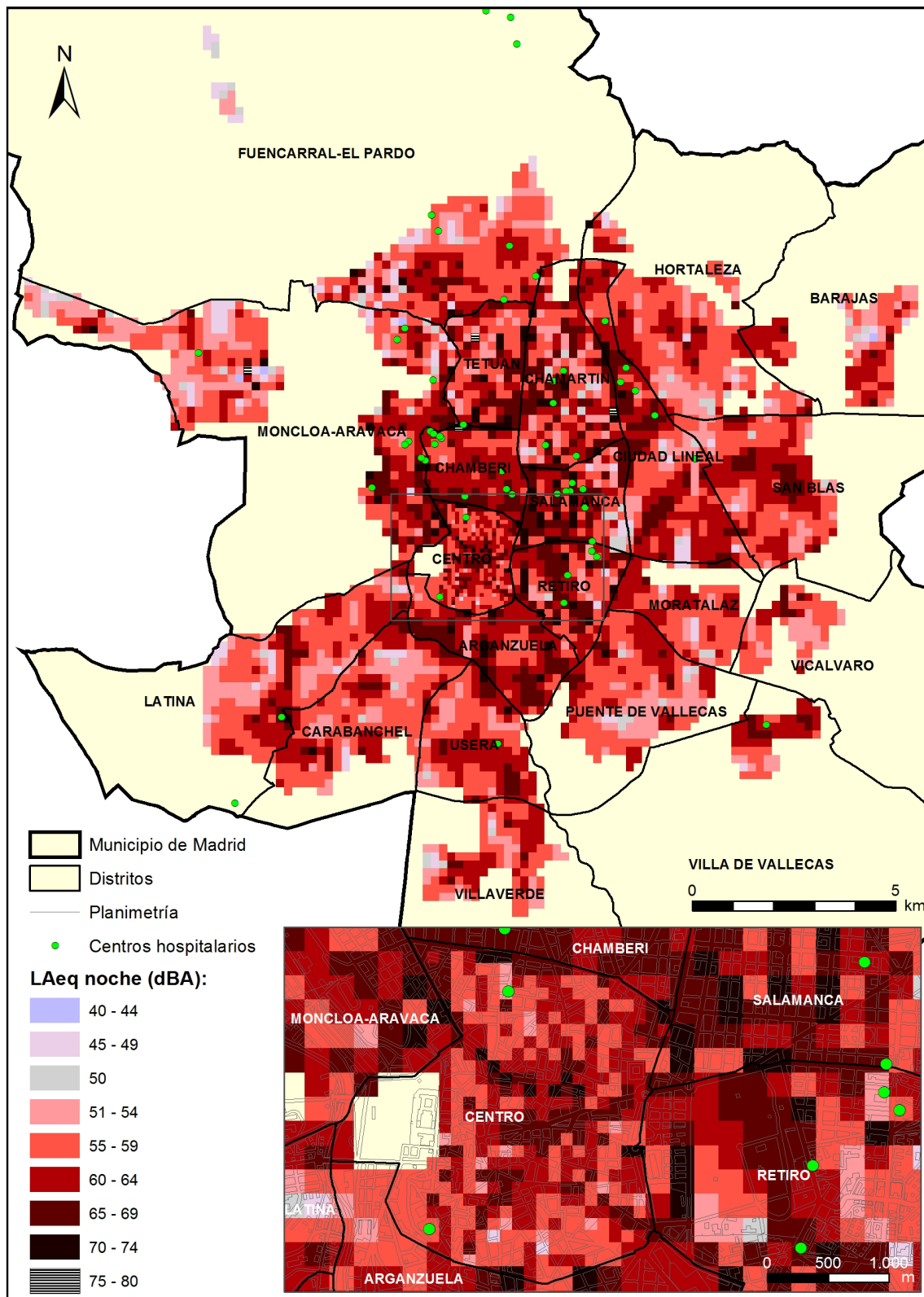
Hay que precisar que los centros considerados en este análisis son tanto públicos como privados. Procede advertir también que del total de 55 centros incluidos en el Catálogo de Hospitales en el municipio, proporcionado en su momento por la Consejería de Sanidad y Consumo de la Comunidad de Madrid, 4 carecen de información sonora asociada por quedar fuera de la cuadrícula del Plano Acústico de Madrid: 3 al norte en el distrito de Fuencarral-El Pardo (Hospital Psiquiátrico de Madrid, Hospital de Cantoblanco y Clínica SEAR, S.A.) y 1 al sudoeste en Latina (Fundación Instituto San José). Es importante destacar que estos últimos no han sido tenidos en cuenta en el análisis estadístico que se presenta más adelante, lógicamente, por carecer de tal información.

Figura 8.8. Centros hospitalarios y niveles acústicos de Madrid durante el periodo diurno.



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Figura 8.9. Centros hospitalarios y niveles acústicos de Madrid durante el periodo nocturno. El símbolo del intervalo de 75-80 dBA contiene una trama rayada para ser diferenciado del intervalo anterior 70-74 dBA.



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.



#### 8.2.5.2. Caracterización del entorno acústico de los hospitales de Madrid, basada en el dato sonoro más próximo (método 1)

A continuación se discuten los resultados derivados de la determinación del entorno acústico de los centros hospitalarios aplicando el método 1 (ver apartado 8.2.4.2.1.), consistente en asignar a cada centro hospitalario el dato sonoro correspondiente al cuadrado del Plano Acústico en el que se ubica espacialmente considerando que éste es el que mejor caracteriza su entorno acústico.

En primer lugar se muestra la expresión cartográfica de la figura 8.10. para el periodo diurno y la figura 8.11. para el nocturno. En dichas figuras se simbolizan los entornos acústicos de los hospitales empleando una escala cromática graduada según su nivel sonoro, en dBA, desde el verde (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (niveles más altos).

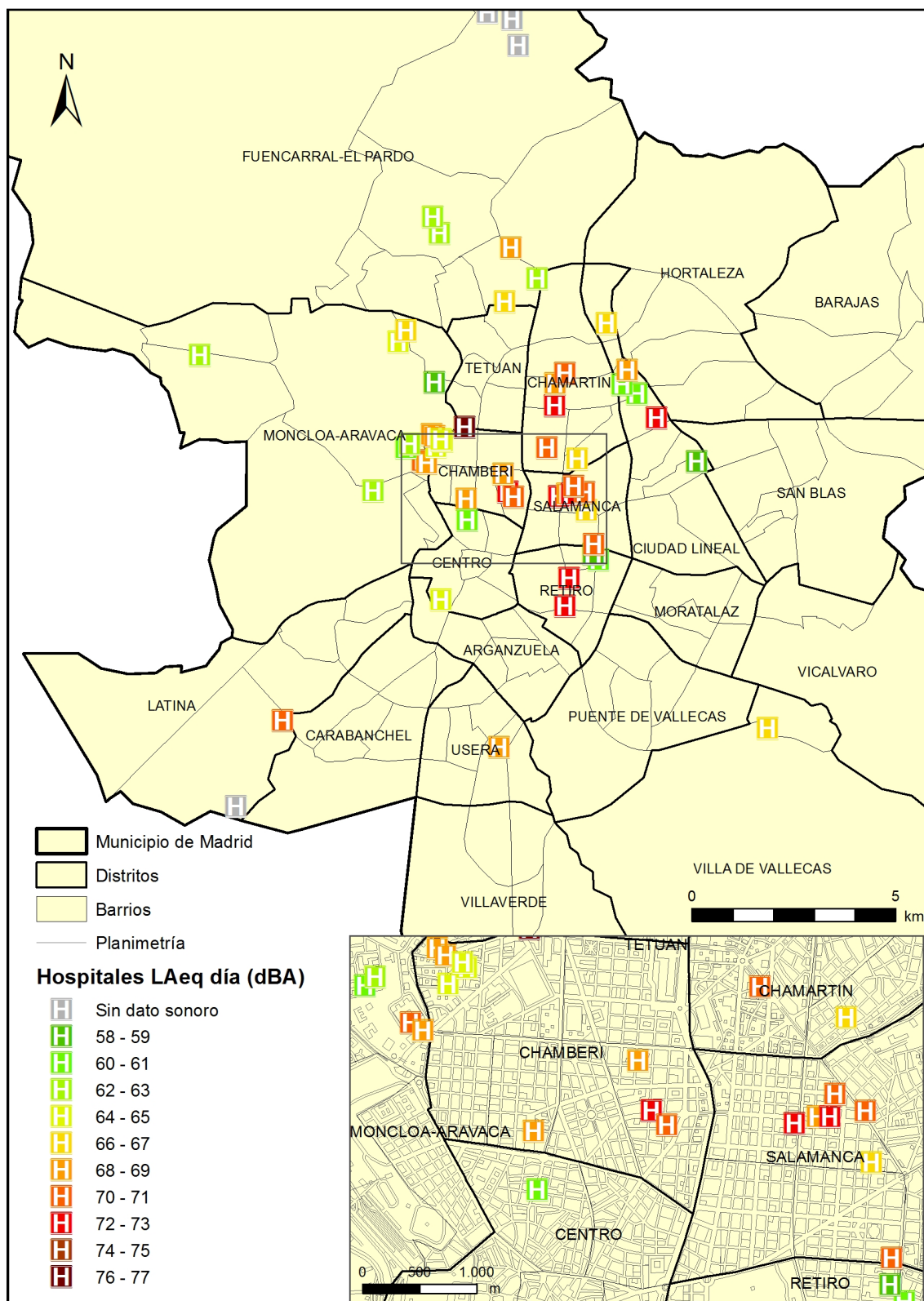
En las figuras se ha añadido la ampliación de una zona contenida en la “almendra central” de Madrid para apreciar mejor los hospitales situados en ella que se visualizan más o menos solapados a causa de la escala, en especial los de los distritos de Salamanca y Chamberí. Además, se ha superpuesto el trazado de las calles, como elemento de referencia.

Se puede observar cómo los centros hospitalarios cuyo entorno acústico es más ruidoso tienden a ubicarse en la zona céntrica de la ciudad, mientras que hacia la periferia madrileña disminuyen los niveles sonoros registrados en dichos entornos. Por lo que respecta a los distritos periféricos, hay que precisar una diferencia observable entre las situaciones de los distritos localizados al noroeste de Madrid (Fuencarral-El Pardo y Moncloa-Aravaca), con niveles de renta elevados, frente al arco periférico sudoeste-este (formado por distritos como Latina, Carabanchel, Usera, Villaverde, Puente de Vallecas, Moratalaz y San Blas), con los niveles de renta menos favorables. En los primeros, los entornos acústicos de los centros hospitalarios registran niveles sonoros más bajos, mientras que en los segundos los entornos resultan bastante más ruidosos. En cualquier caso, la zona acústicamente más conflictiva de Madrid corresponde a la mencionada “almendra central”, dentro de la cual los hospitales viven las situaciones sonoras más desfavorables en su entorno. Este patrón se cumple sobre todo durante el periodo diurno y, en menor medida en el nocturno.

Una vez determinado el entorno acústico de cada hospital por medio del método 1, con el fin de caracterizar sintéticamente dichos entornos se ha llevado a cabo un análisis estadístico descriptivo univariado a partir de los niveles sonoros ( $L_{Aeq}$  día y  $L_{Aeq}$  noche). Éstos han sido tomados como variable independiente (cuantitativa continua), es decir, como factor causante de algún efecto, en este caso la posible molestia a los pacientes y demás usuarios por la existencia de ruido.

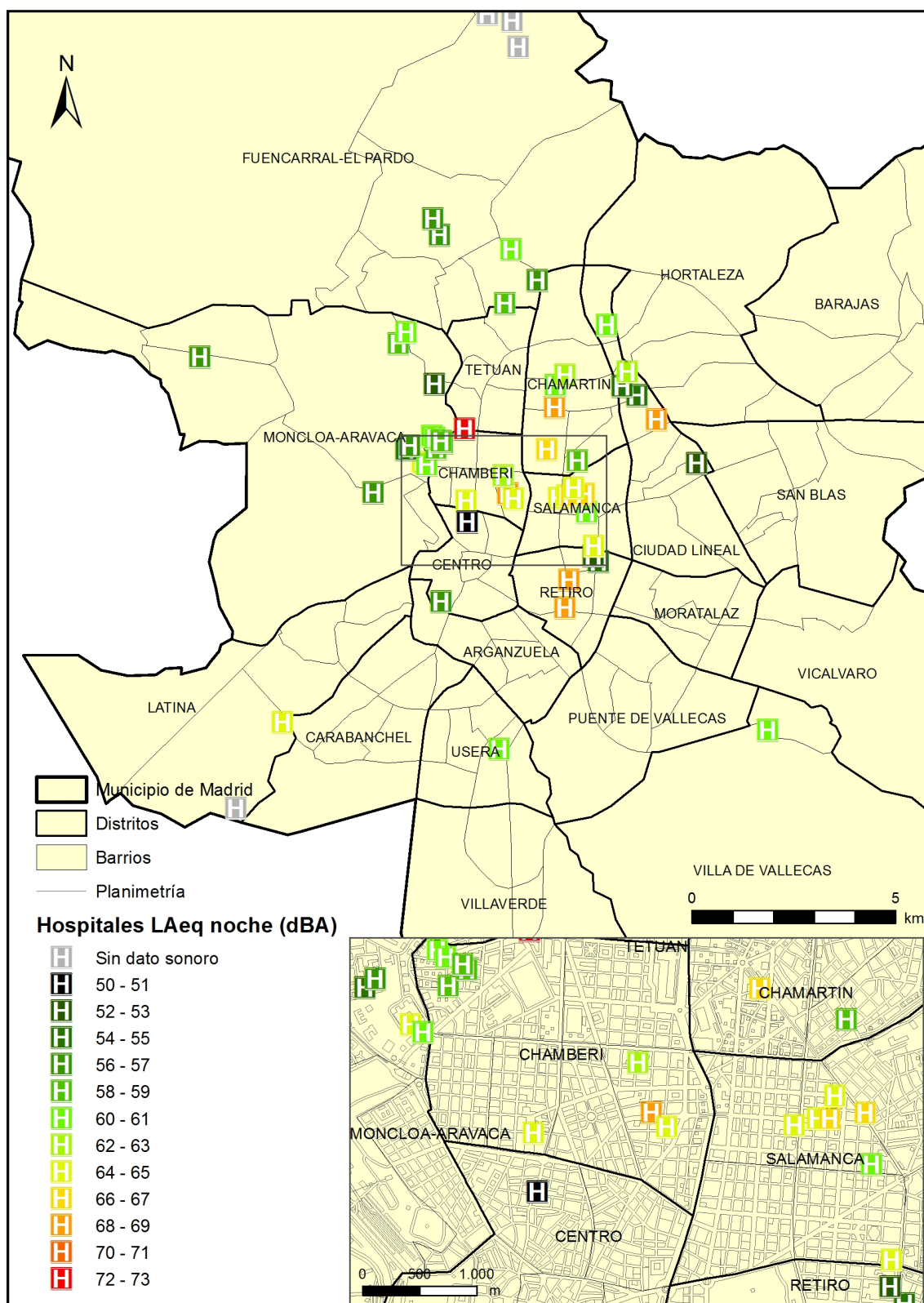


Figura 8.10. Entornos acústicos de los hospitales madrileños según su nivel sonoro, durante el periodo diurno (método 1).



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Figura 8.11. Entornos acústicos de los hospitales madrileños según su nivel sonoro, durante el periodo nocturno (método 1).

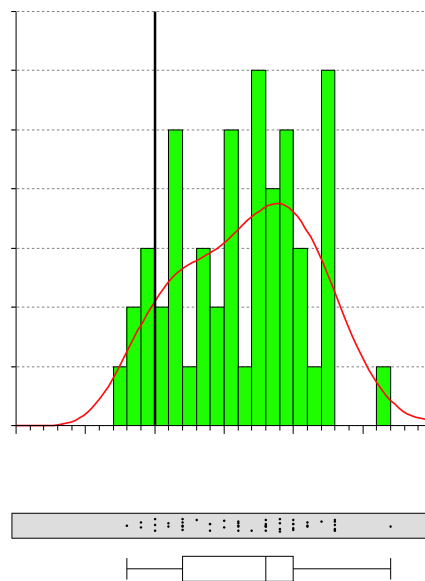


Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

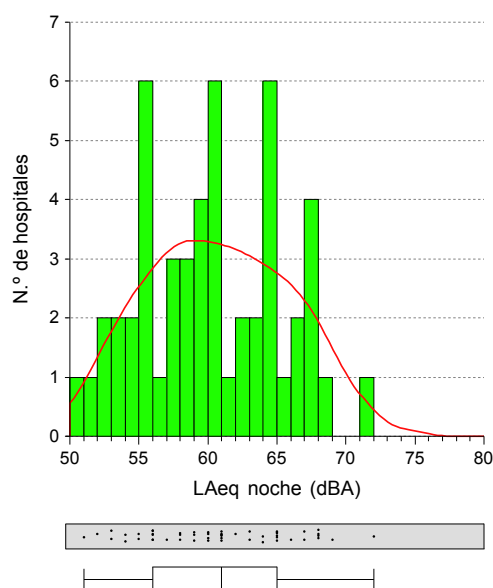
Se han realizado unas representaciones gráficas en forma de histogramas (figura 8.12.) con el objeto de resumir los datos y analizar la distribución de frecuencias de los mismos.

Figura 8.12. Distribución de frecuencias (histograma, línea de densidad, diagrama de dispersión univariado y diagrama de caja) del  $L_{Aeq}$  del entorno acústico de los hospitales de Madrid, para los periodos diurno (A) y nocturno (B) (método 1).

A)



B)



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

*Nota: la línea vertical negra indica el valor límite del  $L_{Aeq\ día}$  establecido por la normativa (en el caso de la figura B, dicha línea es coincidente con el eje de ordenadas).*

En ellos se puede analizar cómo es la distribución de centros hospitalarios de Madrid según sus entornos acústicos. Las barras de los histogramas presentan un área proporcional al número de hospitales para cada nivel sonoro. Junto al eje horizontal se ha representado un diagrama de dispersión univariado con la distribución de hospitales, para ayudar en la interpretación, así como un diagrama de caja.

Para el caso del periodo diurno (recordemos, entre las 7 y 23 h) se observa cómo los niveles de  $L_{Aeq\ día}$  están repartidos y son bastante elevados, siendo los correspondientes a 73 y 68 dBA los que destacan sobre los demás, con 6 (11,76 %) centros hospitalarios en cada uno de ellos. A continuación, los niveles sonoros más representados son los de 70, 66 y 62 dBA, con 5 (9,80 %) centros en cada uno de ellos. En general, la frecuencia de hospitales con uno u otro nivel sonoro sufre marcados altibajos a lo largo de la distribución.

Durante la noche (de 23 a 7 h) se mantiene ese reparto en los niveles sonoros con altibajos en la frecuencia, destacando los de 65, 61 y 56 dBA, con 6 (11,76 %) hospitales en cada uno de ellos.

Analizando comparativamente ambos periodos temporales, se observa que el diurno está claramente desplazado a la derecha respecto del nocturno, es decir, los hospitales soportan unos niveles sonoros en su entorno más elevados durante el día que durante la noche. Tal afirmación está en línea con la caracterización general del ambiente acústico urbano en Madrid, comentada brevemente en el apartado 8.2.5.1. (figuras 8.8. y 8.9.), según la cual los niveles sonoros experimentan un descenso durante la noche.

A partir de los datos sonoros de los entornos acústicos de los hospitales también se han calculado los estadísticos recogidos en la tabla 8.1.

Analizando el rango dentro del cual se encuentran los niveles sonoros de los entornos de los hospitales, se observa que el máximo diurno es de 77 dBA, mientras que el nocturno asciende hasta los 72 dBA, ciertamente también alto pero menor. El mínimo diurno es de 58 dBA y el nocturno de 51 dBA. Se constata, pues, una notable reducción en los valores extremos durante la noche.

La moda es un estadístico con menor interés que la mediana para este estudio, pues aporta menos información sobre la distribución de los valores. Aún así, se ha optado por incluirla en la tabla, resultando ser de 68 y 73 dBA para el día y de 56, 61 y 65 dBA para la noche, corroborando la disminución señalada previamente.

La mediana se constituye como el nivel que divide a la distribución de registros de niveles sonoros ordenada, es decir, que el 50 % de los hospitales (o lo que es lo mismo aquí,

de sus entornos acústicos) son superiores y el otro 50 % son inferiores. Su valor para el conjunto de los hospitales presenta una gran variación entre el día y la noche, siendo de 68 y 61 dBA, respectivamente. Se recalca por tanto la ya advertida disminución de los niveles sonoros del entorno acústico de los centros hospitalarios entre el día y la noche, que alcanza los 7 dBA.

Tabla 8.1. Estadísticos relativos a los datos sonoros del entorno acústico de los hospitales de Madrid, expresados en dBA, para los periodos diurno y nocturno (método 1).

Indicador acústico en el entorno del hospital	Máximo	Mínimo	Moda	Mediana	Percentiles					Amplitud semi-intercuartil	Amplitud total o rango
					P <sub>10</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub>		
L <sub>Aeq</sub> día	77	58	68 y 73	68	60	62,5	68	70	73	3,75	19,00
L <sub>Aeq</sub> noche	72	51	56, 61 y 65	61	54	56	61	65	68	4,50	21,00

*Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

Completando el análisis para conocer la variabilidad o variación de los datos dentro de cada periodo temporal considerado se analizan los distintos percentiles. El motivo de emplear estos estadísticos es que suelen ser usados para resumir la información de conjuntos de datos cuyos histogramas no se aproximan demasiado a la curva normal, como los aquí obtenidos. Los diagramas de caja representados junto al eje horizontal de los histogramas de la figura 8.12. muestran una información muy visual, aparte de la posición y la asimetría, de la variabilidad o variación de los datos sonoros de cada periodo temporal, es decir, el grado en que los datos se parecen o diferencian entre sí. La caja está delimitada superiormente por el 3.<sup>er</sup> cuartil e inferiormente por el 1.<sup>er</sup> cuartil, siendo la más amplia la del periodo nocturno, es decir, presenta una mayor amplitud del intervalo intercuartílico, como medida de la dispersión de los datos. Se trata de un estadístico similar a la amplitud semi-intercuartil (referida al 50 % central de la distribución), cuyos datos se recogen también en la tabla, y que es ligeramente superior en el periodo nocturno (4,50 dBA) indicando que posee una mayor variabilidad de los datos, en contraposición con el periodo diurno (3,75 dBA), cuyos valores intermedios son algo más homogéneos. Tal hecho viene apoyado por los valores de la amplitud total o rango, a la vista de la tabla 8.1. Analizando en los diagramas de caja la posición relativa de la mediana respecto del 1.<sup>er</sup> y 3.<sup>er</sup> cuartil, el caso más desequilibrado es el diurno, en el que la mediana se encuentra mucho más próxima al 3.<sup>er</sup> cuartil, denotando una cierta asimetría negativa (*i. e.* notable concentración de datos en el tramo alto).

Finalmente, los percentiles 10 y 90 proporcionan información de las situaciones más favorables y graves, respectivamente. En el periodo diurno, el percentil 10 (60 dBA) indica que tan sólo un 10 % de los centros hospitalarios se ubica en un entorno que respeta el límite contemplado por la Ordenanza municipal, y el percentil 90 que un 10 % de los entornos hospitalarios sufre más de 73 dBA durante el día, es decir, 13 dBA por encima del límite permitido de 60 dBA. De noche, a pesar de que los niveles sonoros generales son

menores, la situación es más grave, pues el percentil 10 (54 dBA) indica que en el 10 % más favorable de los entornos hospitalarios ya se está superando en 4 dBA el límite legal de 50 dBA, y el percentil 90 (68 dBA) apunta a que en el 10 % más grave lo están excediendo en 18 dBA.

En resumen, los resultados de este análisis estadístico apuntan a que durante la noche los hospitales sufren unos niveles de ruido ambiental más bajos que durante el día, pues los estadísticos de posición que caracterizan su entorno acústico son todos menores, si bien paradójicamente presentan una variabilidad algo superior. En todo caso el incumplimiento de la normativa municipal es bastante generalizado y mayor en el caso nocturno frente al diurno.

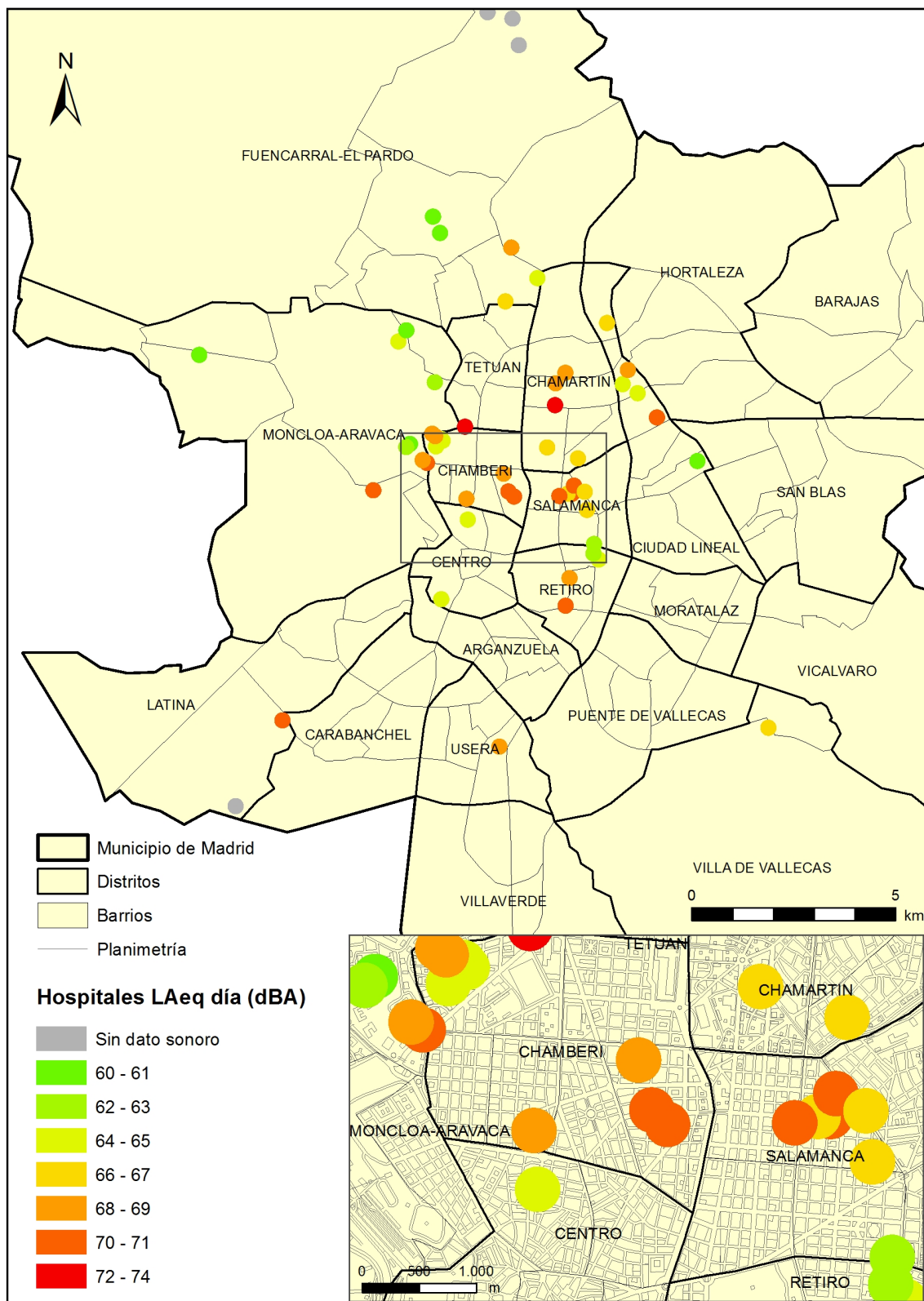
#### 8.2.5.3. Caracterización del entorno acústico de los hospitales de Madrid, basada en los datos sonoros dentro de un entorno próximo (método 2)

A continuación se muestran y discuten los resultados derivados de la determinación del entorno acústico de los centros hospitalarios a través del método 2 (*vid.* apartado 8.2.4.2.2.), consistente en asignar a cada centro hospitalario los datos sonoros más próximos disponibles del Plano Acústico, incluidos dentro del entorno cercano, en un radio de 200 m.

Análogamente a como se hizo anteriormente para el método 1 en cuanto a composición y simbología, como resultado de aplicar este otro método se muestra la expresión cartográfica de la figura 8.13. para el periodo diurno y la figura 8.14. para el nocturno, en las que se simbolizan los entornos acústicos (200 m de radio) de los hospitales empleando una escala cromática graduada según su nivel sonoro, expresado como promedio de los datos del indicador  $L_{Aeq}$  observados en el entorno (en dBA), desde el verde (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (niveles más altos).

En concordancia con la tendencia anteriormente observada con el método 1, se puede apreciar nuevamente cómo los máximos niveles sonoros se dan en los entornos de centros hospitalarios ubicados en la “almendra central” de Madrid, mientras que los mínimos tienden a registrarse en zonas más alejadas del centro, generalmente fuera de dicha “almendra” y con diferencias entre los distritos periféricos del noroeste de Madrid -niveles de renta elevados- con niveles sonoros más bajos, frente al arco periférico sudoeste-este -niveles de renta menos favorables-, más ruidosos. El patrón es bastante parecido tanto durante el periodo diurno como en el nocturno. Por tanto, se revalida la afirmación de que la zona acústicamente más conflictiva de Madrid corresponde a la zona central, dentro de la cual los hospitales viven las situaciones sonoras más desfavorables. Así, la situación nocturna revela una tendencia general similar a la diurna, aunque con una cierta reducción de los niveles sonoros.

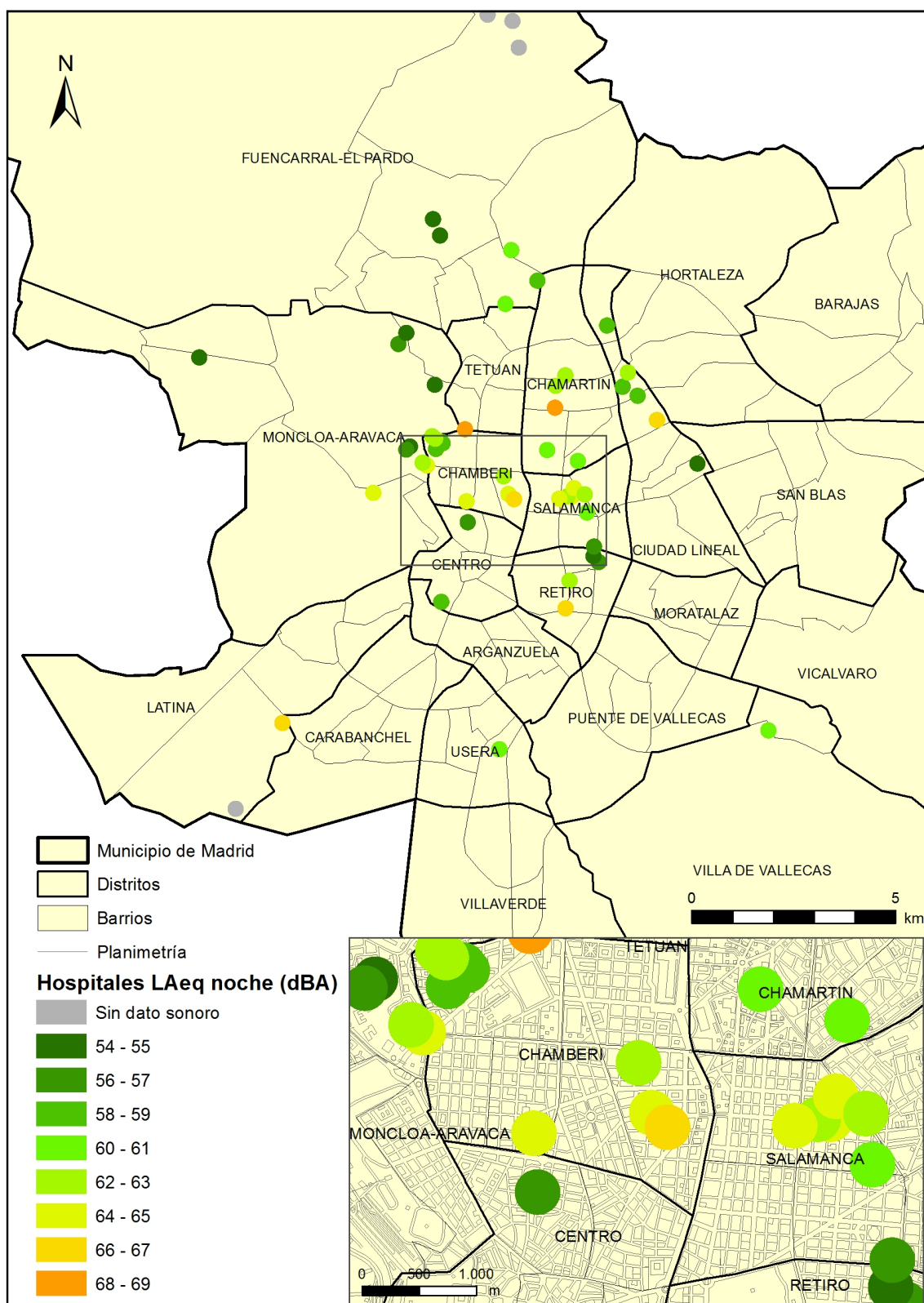
Figura 8.13. Entornos acústicos de los hospitales madrileños, según su nivel sonoro, durante el periodo diurno (método 2).



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.



Figura 8.14. Entornos acústicos de los hospitales madrileños, según su nivel sonoro, durante el periodo nocturno (método 2).



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

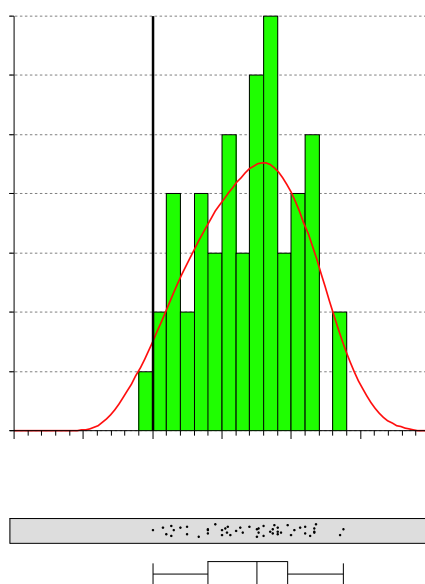


Con el fin de caracterizar sintéticamente los entornos sonoros próximos de los centros hospitalarios determinados según el método 2, se ha realizado, al igual que se hizo para el método 1, un análisis estadístico a partir de los niveles sonoros ( $L_{Aeq}$  día y  $L_{Aeq}$  noche).

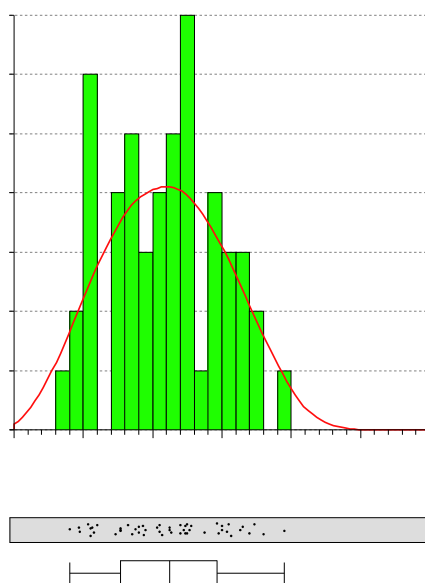
Comenzando por sus histogramas y, en comparación con los resultantes del método 1, con este segundo método parece que su aspecto se asemeja algo más a la normalidad (vid. figura 8.15.).

Figura 8.15. Distribución de frecuencias (histograma, línea de densidad, diagrama de dispersión univariado y diagrama de caja) del  $L_{Aeq}$  del entorno acústico de los hospitales de Madrid, para los periodos diurno (A) y nocturno (B) (método 2).

A)



B)



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

*Nota: la línea vertical negra indica el valor límite del  $L_{Aeq\ día}$  establecido por la normativa (en el caso de la figura B, dicha línea es coincidente con el eje de ordenadas).*

Para el caso del periodo diurno (de 7 a 23 h) se observa de nuevo que los niveles de  $L_{Aeq\ día}$  son bastante elevados también, destacando el de 69 dBA en 7 (13,73 %) centros hospitalarios, seguido de 68 dBA en 6 (11,76 %) centros. A continuación, los niveles sonoros más representados son los de 72 y 66 dBA, con 5 (9,80 %) centros en cada uno de ellos.

Durante la noche (de 23 a 7 h) el nivel sonoro de 63 dBA es el que más hospitales incluye, 7 (13,73 %), seguido por 56 dBA con 6 (11,76 %) centros.

Comparando ambos periodos temporales, de nuevo el diurno está claramente desplazado a la derecha respecto del nocturno, habiendo unos niveles, por tanto, más elevados durante el día.

La tabla 8.2. recoge los estadísticos de centralidad y dispersión calculados a partir de los datos sonoros de los entornos acústicos de los hospitales.

Tabla 8.2. Estadísticos relativos a los datos sonoros del entorno acústico de los hospitales de Madrid, expresados en dBA, para los periodos diurno y nocturno (método 2).

Indicador acústico en el entorno del hospital	Máximo	Mínimo	Moda	Mediana	Percentiles					Amplitud semi-intercuartil	Amplitud total o rango
					P <sub>10</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub>		
$L_{Aeq\ día}$	74	60	64	68	62	64	68	70	72	2,63	13,75
$L_{Aeq\ noche}$	70	54	56	61	56	58	61	64	66	3,12	15,50

*Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

Aplicando este segundo método se observa que el máximo diurno es de 74 dBA, mientras que el nocturno asciende hasta los 70 dBA y, comparándolos con los del método 1, resultan algo inferiores, en 2 ó 3 dBA. El mínimo diurno es de 60 dBA y el nocturno de 54 dBA, entre 2 y 3 dBA superiores a los calculados mediante el método 1. En cualquier caso, se trata de valores todos ellos ciertamente elevados, constatándose una reducción de los valores extremos durante la noche.

La moda es 64 dBA para el día y de 56 dBA para la noche, bastante similares a las resultantes en el anterior método y corroborando igualmente la disminución antes señalada.

La mediana de los entornos acústicos, como valor que divide el conjunto en dos mitades iguales, presenta los mismos valores que los arrojados por el método 1, es decir, 68 dBA para el periodo diurno y 61 dBA para el nocturno que, si bien ambos valores son bastante elevados, muestran una variación significativa entre el día y la noche y manifiestan una vez más el descenso que experimentan durante la noche los niveles sonoros que soportan los hospitales en su entorno, que alcanza los 7 dBA.

La amplitud semi-intercuartil (50 % central de la distribución) toma un valor de 2,63 dBA para el día y 3,12 dBA para la noche, resultando inferior a la calculada mediante el método 1. Ello indica una menor variabilidad de los datos, cuyos valores intermedios son más homogéneos. La amplitud total o rango apoya esta afirmación, al ser parecida entre el día (13,75 dBA) y la noche (15,50 dBA), y a la vez bastante inferior a la calculada con el anterior método. Desde el punto de vista metodológico, lo descrito hasta ahora permite colegir que la aplicación del promedio de datos muestrales próximos frente al del dato más cercano implica una homogeneización de los valores estimados, reduciendo la variabilidad en torno al centro de la distribución de resultados (mediana), que no se altera. La notable variación sonora en cortas distancias queda así reemplazada por un indicador que se considera más representativo del entorno que un solo dato, el más cercano, que puede ser incluso anómalo. El ruido puede ser muy diferente en una u otra fachada u orientación del centro hospitalario, según la exposición a las fuentes emisoras.

Para el periodo diurno, el 1<sup>er</sup> cuartil asciende a 64 dBA, indicando que el 75 % de los entornos acústicos presenta un nivel sonoro superior a dicho valor; y el 3<sup>er</sup> cuartil revela que en una cuarta parte de los centros hospitalarios se supera incluso los 70 dBA. Para el caso nocturno, ambos valores son, respectivamente, 58 y 64 dBA, sensiblemente más bajos.

El percentil 10 proporciona información de las situaciones más favorables, y en el periodo diurno (62 dBA) indica que ni siquiera el 10 % de los centros hospitalarios se ubica en un entorno que respeta el límite contemplado por la Ordenanza municipal. El percentil 90 apunta hacia las situaciones más graves, indicando que un 10 % de los entornos hospitalarios sufre más de 72 dBA de día, es decir, 12 dBA por encima del límite permitido de 60 dBA. De noche la situación se agrava a pesar de que los niveles sonoros generales son más reducidos, de manera que en el 10 % más favorable de los entornos hospitalarios ya se está superando en 6 dBA el límite legal (percentil 10 = 56 dBA), y el percentil 90 (66 dBA) revela que en el 10 % más grave lo están excediendo ya en 16 dBA.

En resumen, comparando los dos periodos temporales considerados, los resultados de este análisis estadístico apuntan de nuevo a que los niveles sonoros que definen el entorno acústico de los hospitales son más elevados durante el día que durante la noche. La mediana de los datos sonoros diurnos es mayor y éstos presentan menor amplitud y algo menos de variabilidad que en el caso de la noche.

#### 8.2.5.4. Análisis espacial del cumplimiento del nivel sonoro permitido en el entorno de los hospitales de Madrid (método 1)

En los apartados anteriores se han realizado algunos comentarios generales en relación con los percentiles 10 y 90 y las situaciones a priori más favorables y más graves de los hospitales. Completando esta caracterización, a continuación se profundiza y detalla más el examen del cumplimiento de los niveles acústicos permitidos por la normativa municipal

en el entorno sonoro de los centros hospitalarios. Es de destacar la importancia de este análisis, en vistas al aporte de una metodología útil y válida para la gestión municipal del problema del ruido, apoyado en las previsiones e indicaciones que hace la normativa en cuanto a los objetivos de los mapas acústicos<sup>61</sup>.

Como se anticipó, según la Ordenanza municipal (*vid.* apartado 4.4.) los valores límite del nivel sonoro ambiental específicamente designados para los periodos diurno y nocturno en suelo urbano, para las áreas acústicas de Tipo I (Áreas de silencio) destinadas a usos sanitarios y de bienestar social son, respectivamente, 60 y 50 dBA.

Esta exploración se inicia en los histogramas de la figura 8.12. anteriormente comentados, en los que se ha marcado una línea negra vertical que indica tales niveles sonoros límite marcados por la normativa. Como se aprecia durante el día, el entorno sonoro de muy pocos centros hospitalarios cumplen la Ordenanza municipal, mientras que durante la noche ninguno. De hecho, observando el rango de datos sonoros analizados y sus máximos y mínimos, a partir de la tabla 8.1., es de destacar el alto grado con que los máximos (77 dBA diurno y 72 dBA nocturno) superan los límites establecidos por la normativa (17 y 22 dBA de más, respectivamente), al igual que sucede incluso también con el mínimo nocturno (51 dBA), estando por su parte el diurno (58 dBA) muy próximo al límite de incumplimiento.

Los resultados que completan este análisis son los que se muestran en las figuras 8.16. (para el periodo diurno) y 8.17. (periodo nocturno). Se trata de mapas en los que se representa la capa temática obtenida aplicando el método 1, de tipo puntual, con información tanto de los centros hospitalarios como de sus niveles sonoros asociados, indicados éstos últimos mediante el nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A ( $L_{Aeq}$  día y  $L_{Aeq}$  noche), expresado en decibelios (dBA), como indicador acústico.

La simbología empleada consiste en representar cada punto (hospital) mediante una letra “H”, adoptando la técnica de coropletas, agrupándolos en varias clases de diferente amplitud y empleando una escala cromática desde el verde (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (más elevados). El patrón seguido, junto a los criterios de elección de cada clase, es el siguiente:

- H** Niveles sonoros  $\geq 10$  dBA por encima del límite aceptable marcado por la Ordenanza (esta clase termina en el valor máximo registrado): se trata de las situaciones más graves; aquéllas en las que en el entorno acústico de los hospitales se incumplen manifiestamente las exigencias legales, así como el ruido puede afectar gravemente a las actividades sanitarias que tienen lugar en los centros, suponiendo una clara

---

<sup>61</sup> Ver los ya citados Anexo IV de Requisitos mínimos sobre el cartografiado estratégico del ruido de la Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, y art. 15 de la Ley 37/2003, del Ruido.

amenaza potencial para los pacientes que están llevando a cabo tratamientos médicos (convalecencias, rehabilitaciones...) y también para el resto de usuarios, trabajadores, etc.

**H** Niveles sonoros < 10 dBA por encima del límite aceptable marcado por la Ordenanza: hospitales cuyo entorno incumple claramente el ordenamiento municipal, en situación grave, de riesgo para los pacientes.

**H** Niveles sonoros = al límite aceptable marcado por la Ordenanza: el hospital se ubica en una zona que está rozando el incumplimiento legal, en la que es preciso fijar medidas de atención, seguimiento y/o control del ambiente acústico.

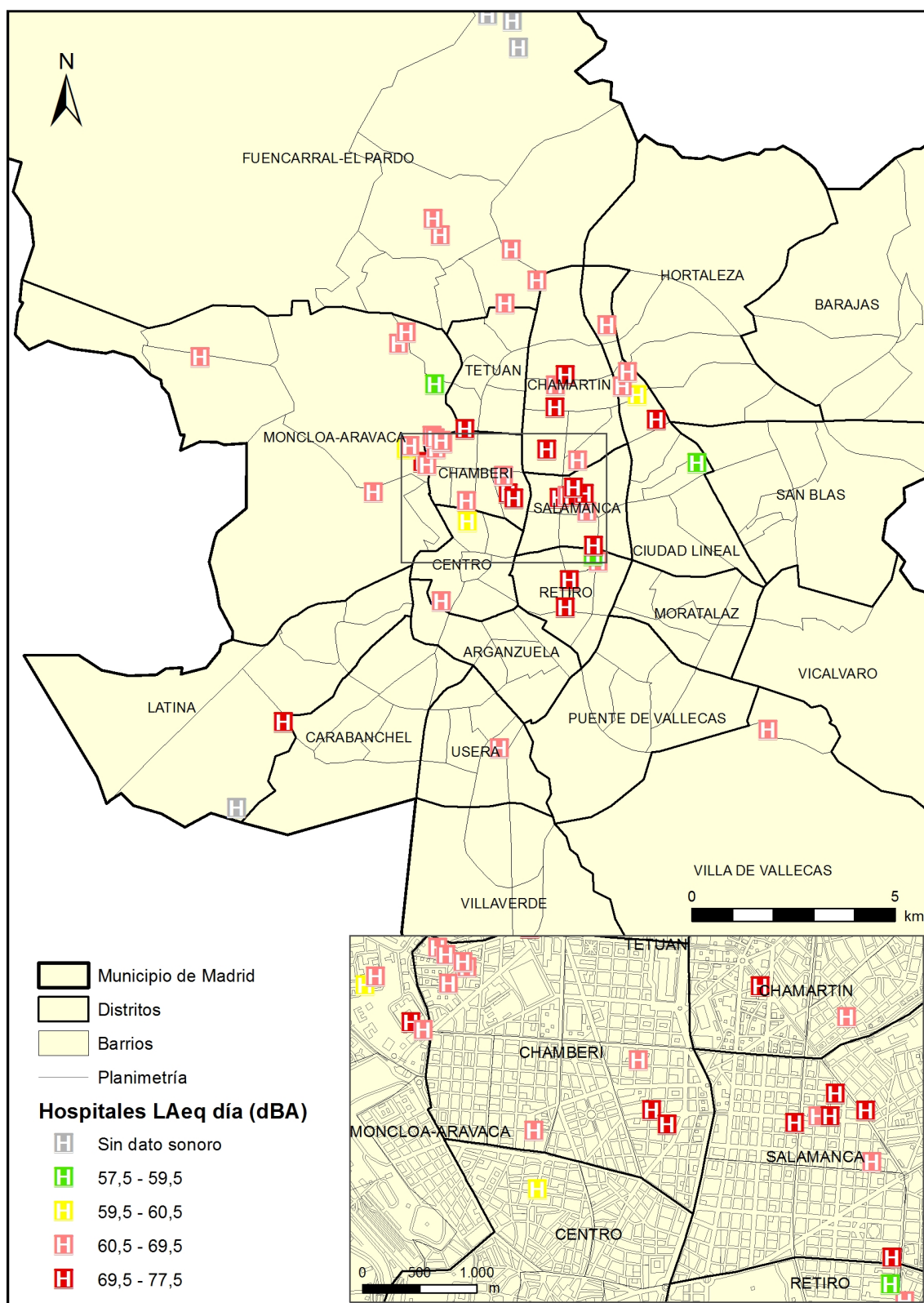
**H** Niveles sonoros < al límite aceptable marcado por la Ordenanza (esta clase comienza en el valor mínimo registrado): se trata de los hospitales cuyo entorno acústico es menos ruidoso, o que al menos no supera el máximo nivel sonoro permitido. Son los casos menos graves y, sin duda, los más favorables para los pacientes.

**H** Sin dato sonoro: finalmente, hay una categoría para dar cabida a los 4 hospitales de los que se carece de dato sonoro ambiental y que están, por tanto, excluidos del análisis.

El número de clases representadas varía para el periodo del día o la noche, según el rango de los valores sonoros registrados en los entornos acústicos.

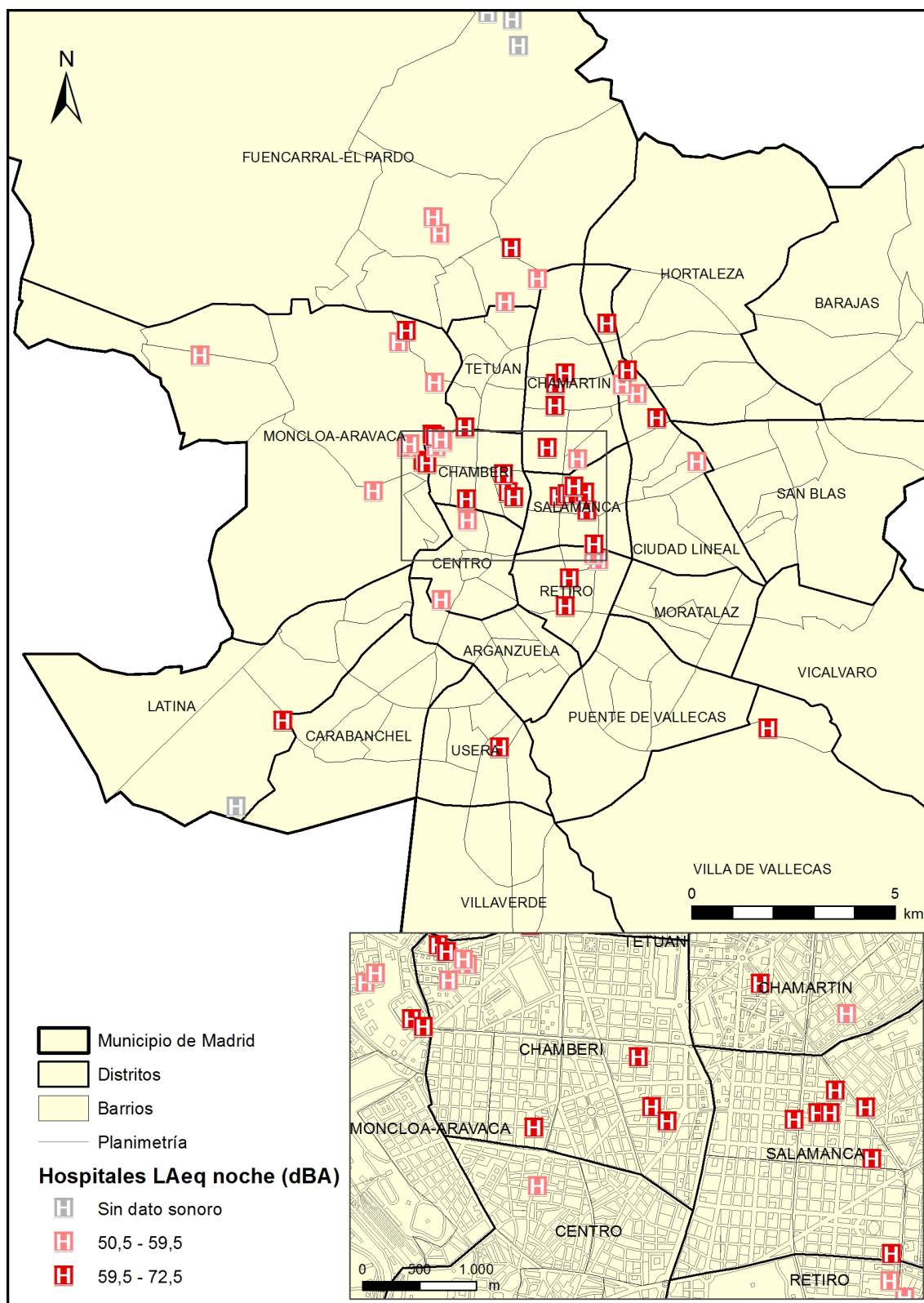
En las figuras se ha añadido la ampliación de una zona contenida en la “almendra central” de Madrid para apreciar mejor los hospitales allí situados, que se visualizan más o menos solapados a causa de la escala, en especial en los distritos de Salamanca y Chamberí. Además, se ha superpuesto la planimetría con el trazado de las calles, como elemento de referencia.

Figura 8.16. Distribución espacial del cumplimiento del nivel acústico diurno permitido (60 dBA) en zonas sanitarias, por centros hospitalarios (método 1).



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Figura 8.17. Distribución espacial del cumplimiento del nivel acústico nocturno permitido (50 dBA) en zonas sanitarias, por centros hospitalarios (método 1).



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Se puede ver cómo durante el periodo diurno la representación cartográfica consta de todas las clases contempladas, dada la amplitud total de los datos sonoros, aunque tan sólo 3 (5,88 %) centros hospitalarios (representados en verde) se encuentran en un entorno cuyos niveles sonoros son claramente inferiores al límite marcado por la normativa: se trata del Hospital General Universitario Gregorio Marañón (58 dBA), la Clínica Fuensanta y la Clínica Isadora (ambas con 59 dBA). A continuación, en los entornos acústicos de otros 3 (5,88 %) centros (representados en amarillo) se registra el límite legal de 60 dBA: Instituto de Cardiología de Madrid, Clínica Ntra. Sra. de Belén y Centro Médico ICE (cerrado en ese momento). Obsérvese la reducida diferencia entre ambas categorías marcadas en verde y amarillo, indicadora de la crítica situación existente, próxima al incumplimiento. El resto de centros rebasan el nivel sonoro aceptable marcado por la Ordenanza: 29 (56,86 %) registran menos de 10 dBA por encima del límite y 16 (31,37 %) centros 10 dBA o más.

Durante el periodo nocturno, lo que más llama la atención es que se incumple generalizadamente la normativa en el entorno acústico de todos los hospitales madrileños, pues el mínimo registrado (51 dBA) ya está rebasando el límite legal de 50 dBA marcado por la Ordenanza. Así pues, los centros hospitalarios aparecen representados únicamente en dos categorías: los que superan en menos de 10 dBA el límite, encontrándose 21 (41,18 %) centros en esta situación, y los que lo exceden en 10 dBA o más, siendo éstos un total de 30 (58,82 %).

Finalmente, la tabla 8.3. recoge una sencilla estadística de las situaciones aceptables e inaceptables, desde el punto de vista del cumplimiento de la normativa, según el método 1.

Tabla 8.3. Resumen de las situaciones aceptables e inaceptables, según el cumplimiento de la Ordenanza municipal, para los entornos acústicos de los hospitales de Madrid (método 1).

	N.º de hospitales (total = 51)			
	Periodo diurno		Periodo nocturno	
Nivel sonoro aceptable ( $L_{Aeq\text{ día}} \leq 60\text{ dBA}$ , ( $L_{Aeq\text{ noche}} \leq 50\text{ dBA}$ )	6	11,76 %	0	0 %
Nivel sonoro inaceptable ( $L_{Aeq\text{ día}} > 60\text{ dBA}$ , $L_{Aeq\text{ noche}} > 50\text{ dBA}$ )	45	88,24 %	51	100 %

*Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

Como se puede observar, durante el periodo diurno tan sólo 6 centros hospitalarios se encuentran en un entorno acústico que cumple la normativa, representando tan sólo un 11,76 % respecto del total de los 51 hospitales analizados.



Para el caso nocturno, la situación es mucho más grave pues, como ya se ha visto gráficamente en el mapa de la figura 8.17., ningún centro cumple los límites legales, indicando que urge impulsar alguna acción para corregir tal circunstancia.

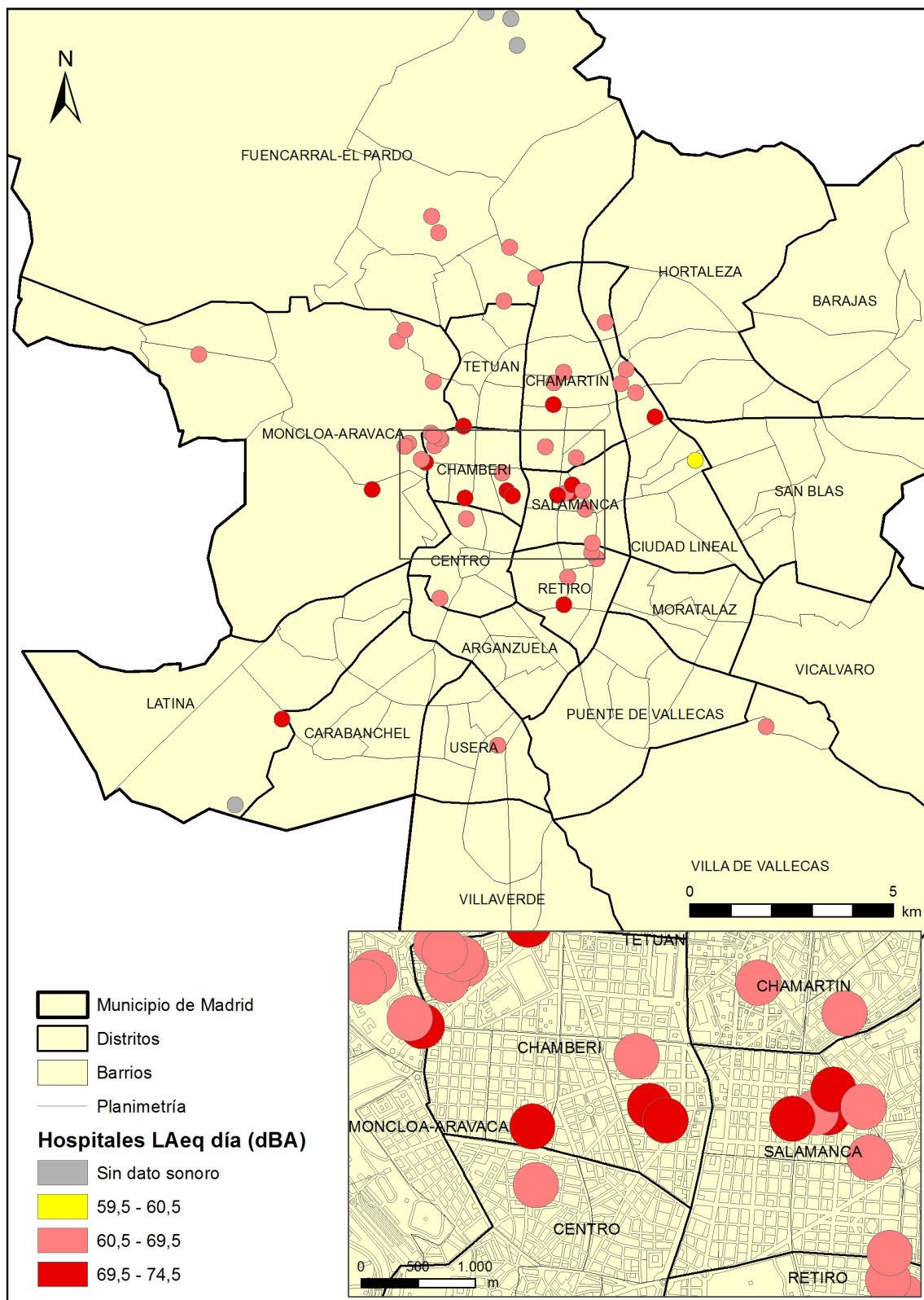
Analizando espacialmente la situación, a la vista de las figuras 8.16. y 8.17., los centros hospitalarios en los que el grado de incumplimiento de los límites normativos es mayor tienden a situarse hacia la zona de la “almendra central” de Madrid, especialmente en el ensanche, sobre todo en lo que al periodo diurno se refiere. De nuevo, se hace patente la necesidad de acciones urgentes para solventar tal situación en esas zonas.

#### 8.2.5.5. Análisis espacial del cumplimiento del nivel sonoro permitido en el entorno de los hospitales de Madrid (método 2)

Para el caso de aplicar el método 2, el análisis del cumplimiento de la normativa municipal, que recordemos contempla los límites de  $L_{Aeq\text{ día}} = 60\text{ dBA}$  y  $L_{Aeq\text{ noche}} = 50\text{ dBA}$  fijados por la Ordenanza para las áreas acústicas de Tipo I (Áreas de silencio) destinadas a usos sanitarios y de bienestar social en suelo urbano, permite vislumbrar a la vista de los valores de la tabla 8.2. que durante el día se llega a superar el límite legal en 14 dBA, mientras que durante la noche se excede hasta en 20 dBA (los máximos registrados son de 74 dBA diurno y 70 dBA nocturno), y en lo que respecta a los mínimos, el diurno (60 dBA) roza el incumplimiento, mientras que el nocturno (54 dBA) ya lo excede en 4 dBA, revelándose como necesaria la toma de medidas.

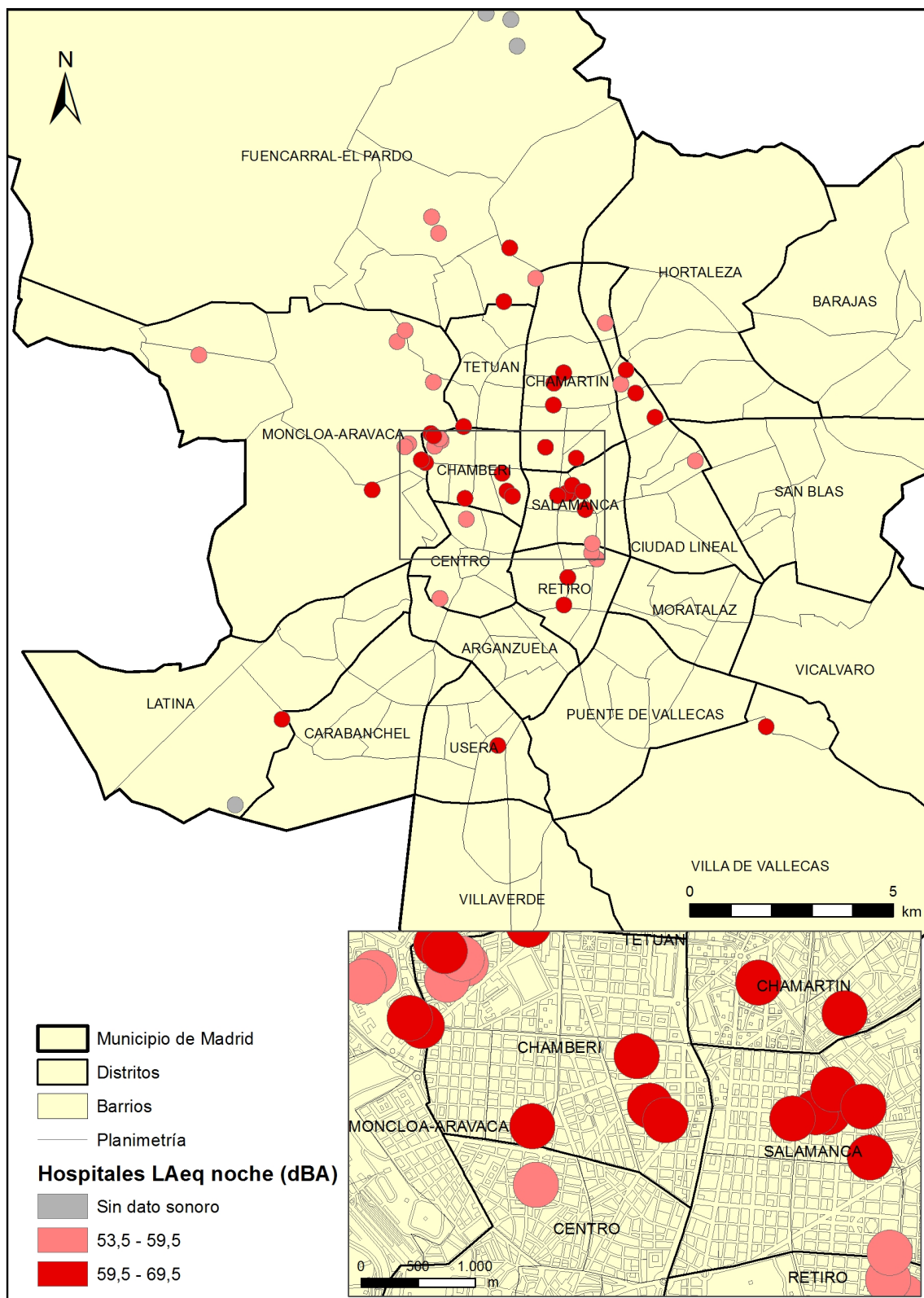
Las figuras 8.18. (para el periodo diurno) y 8.19. (periodo nocturno), cuyas composiciones cartográficas y simbología son análogas a las recién mostradas correspondientes al método 1 (*vid.* apartado 8.2.5.4.), completan este análisis, representando los niveles sonoros ( $L_{Aeq\text{ día}}$  y  $L_{Aeq\text{ noche}}$ ) asociados a los entornos acústicos próximos (radio de 200 m) correspondientes a cada centro hospitalario, agrupándolos en varias clases de diferente amplitud y empleando una escala cromática desde el verde (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (más elevados) para observar el cumplimiento normativo. Al igual que para el caso del método 1, el número de clases representadas varía para el periodo del día o la noche, según el rango de los valores sonoros registrados en los entornos acústicos.

Figura 8.18. Distribución espacial del cumplimiento del nivel acústico diurno permitido (60 dBA) en zonas sanitarias por centros hospitalarios (método 2).



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Figura 8.19. Distribución espacial del cumplimiento del nivel acústico nocturno permitido (50 dBA) en zonas sanitarias por centros hospitalarios (método 2).



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Se puede ver cómo durante el periodo diurno el mapa indica que ningún centro hospitalario está por debajo del nivel sonoro ambiental aceptable de 60 dBA marcado por la normativa, y se aprecia que tan sólo uno (en amarillo) del total de los 51 hospitales analizados se encuentra en un entorno cuyo nivel sonoro es coincidente y por tanto cumple con él: se trata de la Clínica Fuensanta. El resto de centros lo rebasan: 38 (74,51 %) registran menos de 10 dBA por encima del límite y 12 centros (23,53 %) en 10 dBA o más.

Durante el periodo nocturno la situación es bastante más negativa y es manifiesto el incumplimiento generalizado de la normativa en el entorno acústico de todos los hospitales madrileños, pues el mínimo registrado (54 dBA), como se comentaba anteriormente, ya rebasa en 4 dBA el límite legal marcado por la Ordenanza. Así pues, son 21 (41,18 %) los centros hospitalarios que superan en menos de 10 dBA el límite, mientras que 30 (58,82 %) lo exceden en 10 dBA o más.

Finalmente, la tabla 8.4. sintetiza los resultados en relación con las situaciones aceptables e inaceptables, desde el punto de vista del cumplimiento de la normativa, según este método 2.

Tabla 8.4. Resumen de las situaciones aceptables e inaceptables, según el cumplimiento de la Ordenanza municipal, para los entornos acústicos de los hospitales de Madrid (método 2).

	N.º de hospitales (total = 51)			
	Periodo diurno		Periodo nocturno	
Nivel sonoro aceptable ( $L_{Aeq\text{ día}} \leq 60\text{ dBA}$ , ( $L_{Aeq\text{ noche}} \leq 50\text{ dBA}$ )	1	1,96 %	0	0 %
Nivel sonoro inaceptable ( $L_{Aeq\text{ día}} > 60\text{ dBA}$ , ( $L_{Aeq\text{ noche}} > 50\text{ dBA}$ )	50	98,04 %	51	100 %

*Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

Analizando espacialmente la situación, a la vista de las figuras 8.18. y 8.19., los centros hospitalarios en los que el grado de incumplimiento de los límites normativos es mayor tienden a situarse hacia la zona de la “almendra central” de Madrid, especialmente en el ensanche, en lo que a ambos periodos temporales se refiere aunque sobre todo durante el diurno, en el que sólo 3 de los 12 hospitales con entorno más ruidoso quedan fuera de dicha “almendra”. En la noche, ascienden a 9 los hospitales no céntricos que soportan un entorno acústico inaceptable, apareciendo por casi toda la aureola periférica.

En síntesis, y con las cautelas inherentes al método de estimación empleado, el panorama sonoro de los entornos hospitalarios madrileños parece claramente insatisfactorio, por excesivamente ruidoso. Aunque se constata la habitual reducción sonora durante la noche, el incumplimiento de la normativa municipal sigue siendo generalizado, y mayor en el

caso nocturno que en el diurno. Todo ello indica que se precisan acciones urgentes para corregir tal situación.

### **8.2.6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**

Este capítulo ha abordado el problema de definir y caracterizar el ambiente sonoro exterior de unos equipamientos especialmente sensibles: los hospitales, con fines de diagnóstico urbano-ambiental. Para ello, se ha debido realizar un esfuerzo metodológico para intentar establecer una caracterización de esos entornos sonoros cercanos en el caso de Madrid. Tras una introducción conceptual, se han presentado las bases para la representación de los entes (los hospitales) y los datos sonoros en un SIG, con la pretensión de aplicar luego procedimientos analíticos razonables que permitiesen determinar los rasgos sonoros básicos de los entornos hospitalarios.

Dos han sido las lógicas metodológicas que han inspirado los tratamientos adoptados y que presuponen un entendimiento distinto de la representatividad espacial de la información sonora, asumiendo, siempre, que el hospital se representa mediante un punto (aproximadamente el centroide de sus instalaciones). Se han discutido y aplicado por tanto dos propuestas efectivas (cada una con sus ventajas e inconvenientes) de cara a conocer el ambiente sonoro próximo de los centros hospitalarios.

El primer método, consistente en asignar a cada centro hospitalario el dato sonoro más próximo, que no es otro que el correspondiente al cuadrado del Plano Acústico en el que se ubica espacialmente, se basa en una representación de los centros hospitalarios de tipo puntual y de los niveles sonoros del Plano Acústico de Madrid de tipo poligonal. La ventaja de este método es que utiliza el dato sonoro más próximo disponible. Sin embargo, un hospital real no es un punto, sino toda una parcela sobre la que puede influir el ruido en todo su perímetro (condicionado, como ya se ha comentado, por la disponibilidad de la información). Además, resulta un procedimiento un tanto limitado al considerar solamente parte de toda la información que podría aportar el Plano Acústico en las inmediaciones, al no tener en cuenta el resto de cuadrados cercanos. También, al no conocer la localización de los puntos muestrales escogidos para la realización del Plano Acústico, no se sabe hasta qué grado la información sonora que se está asignando al hospital es la que mejor le correspondería. Además, supone asumir el riesgo de que se estén imputando al hospital los valores sonoros correspondientes a un cuadrado que pudiera resultar ser anómalo. Desgraciadamente, estas cuestiones son inherentes al propio Plano Acústico, tal cual fue obtenido.

El segundo método planteado, que involucra datos en un radio de 200 m en torno al hospital, aparece como más riguroso por considerar el conjunto de los datos sonoros más próximos, lo que le dota de mayor representatividad del entorno acústico de cada hospital, incorporando una visión más amplia y completa del mismo, aprovechando más la

información del Plano Acústico de Madrid y minimizando el sesgo y aleatoriedad inherentes al uso de un solo dato sonoro (primer método expuesto). En definitiva, aunque siga considerando a cada hospital como un punto, es un método más exhaustivo. Todo ello sin dejar de considerar, desde el punto de vista de la autocrítica, una posible mejora futura del mismo en la que se tome en cuenta una ponderación (medias ponderadas en lugar de la media aritmética simple) en función de la distancia de los centroides de ruido contenidos en cada entorno sonoro (*buffer*) alrededor del hospital, dado que ejercen una mayor influencia los centroides más próximos frente a los más lejanos.

En segundo lugar, debe subrayarse que la metodología expuesta ha evidenciado la potencialidad de las tecnologías de la información geográfica para abordar más eficientemente las problemáticas ambientales urbanas en relación con la evaluación del potencial impacto acústico, que afecta a funciones y entornos altamente sensibles y protegibles como son los hospitalarios, y por tanto demandantes de protección. Para la viabilidad de este estudio han sido determinantes las operaciones de geoprocésamiento disponibles en los SIG.

En tercer lugar, y en lo concerniente a las fuentes, el Catálogo de Hospitales supone una base de indudable interés para los fines de conocimiento avistados, si bien hay que recalcar que la naturaleza puntual de la información conlleva una serie de limitaciones, pues simplifica mucho las entidades reales (los edificios tridimensionales o la parcela ocupada por los centros sanitarios) e implica que las coordenadas del punto localizador son las más representativas, hecho no siempre cierto. De cara al futuro, el recurso a un modelo de geodatos mediante parcelas poligonales o figuras 3D son mejoras claras para este tipo de análisis.

Es de destacar, asimismo, la valiosa información acústica recogida en el Plano Acústico de Madrid de 2002, si bien es preciso añadir que el propio diseño del Plano ha introducido ciertas limitaciones a la capacidad del análisis debido al encorsetamiento que ha supuesto su estructuración cuadriculada (que ha habido que solventar mediante el recurso a sus centroides), así como al desconocimiento de la localización exacta de los puntos muestrales a partir de los cuales se elaboró. La distancia aproximada de 200 m entre puntos muestrales también parece algo desajustada (por excesiva) a los efectos de estudios de detalle como el abordado aquí.

En cuanto a los resultados obtenidos, éstos permiten comprobar, en primer lugar, que prácticamente el total de los 51 centros hospitalarios analizados (tanto públicos como privados) se ubican sobre el terreno cubierto por la malla del Plano Acústico, es decir, en el área urbanizada del municipio de Madrid, y en definitiva, próximos a la ciudadanía en virtud de los servicios que prestan. Su distribución es heterogénea a favor de la mitad norte, existiendo pocos hospitales en los distritos de la mitad sur. A su vez, tienden a concentrarse hacia la “almendra central”, así como en determinadas zonas periféricas de alta capacidad

adquisitiva, pareciendo responder a criterios más socio-económicos (según niveles de renta) que demográficos (n.º de habitantes).

La segunda fase del trabajo en este capítulo se ha centrado en caracterizar y analizar, mediante estadísticos descriptivos, las variaciones espaciales y temporales existentes en los entornos acústicos de los centros hospitalarios, y muy especialmente examinar el cumplimiento de los límites legales contemplados por la normativa en el entorno de estos equipamientos.

Los resultados apuntan a que, espacialmente, el entorno acústico de los hospitales en los distritos centrales de Madrid tiende a ser más ruidoso, especialmente hacia la “almendra central”, atenuándose tal situación hacia la periferia. Por tanto, la zona acústicamente más conflictiva de Madrid corresponde a dicha “almendra” central, dentro de la cual los hospitales viven las situaciones sonoras más desfavorables. Analizando comparativamente los periodos temporales considerados, los niveles sonoros que definen el entorno acústico de los hospitales son más elevados durante el día, experimentando un descenso durante la noche, circunstancia acorde con la caracterización general del ambiente acústico urbano en Madrid (*vid.* apartados 7.4. y 7.5.).

En cuanto al examen del cumplimiento de la normativa municipal, aunque resulta generalizada la superación de los niveles límite legalmente establecidos, afloran ligeras diferencias según el método considerado, resultando muy poco menos desfavorable el primero de los dos. El incumplimiento es bastante mayor en el caso nocturno frente al diurno: durante el día se llega a superar el límite legal en 17 dBA (método 1) ó 14 dBA (método 2), mientras que durante la noche se excede hasta en 22 dBA (método 1) ó 20 dBA (método 2). Durante el periodo diurno, según el método 1 tan sólo 6 centros hospitalarios de los 51 analizados se encuentran en un entorno acústico que cumple la normativa (60 dBA). De esos 6, 3 presentan un nivel sonoro coincidente con el límite legal y otros 3 registran niveles muy ligeramente inferiores (hasta 2 dBA menos). El resto de centros rebasan el nivel sonoro aceptable marcado por la Ordenanza: 29 registran menos de 10 dBA por encima del límite y 16 centros 10 dBA o más. Con el método 2 el cumplimiento se reduce a 1 solo centro, que coincide con el límite legal, incumpléndolo los 50 restantes: 38 registran menos de 10 dBA por encima del límite y 12 centros 10 dBA o más. En el periodo nocturno la situación es mucho más negativa, pues se incumple generalizadamente la normativa en el entorno de todos los hospitales madrileños. Según el método 1, el mínimo registrado ya rebasa el límite legal en 1 dBA, 21 centros lo superan en menos de 10 dBA y 30 lo exceden en 10 dBA o más. Con el método 2, el mínimo ya rebasa el límite en 4 dBA; los que superan en menos de 10 dBA el límite son 21 centros, y los que lo exceden en 10 dBA o más ascienden a un total de 30. Espacialmente, y de nuevo, los centros hospitalarios en los que el grado de incumplimiento de los límites normativos es mayor tienden a situarse hacia la zona de la “almendra central” de Madrid, sobre todo durante el periodo diurno.

Como conclusión general, independientemente de cuál sea el método de los dos utilizados, el diagnóstico acerca del ambiente sonoro exterior de los hospitales en Madrid para la fecha considerada es pesimista, y los resultados indican que se precisan acciones urgentes para corregir tal situación. Conseguir los niveles de calidad ambiental fijados en las áreas acústicas definidas por la Administración municipal conforma un desafío de resolución compleja. Con estudios como éste se intenta contribuir a afrontar este importante problema ambiental urbano al que se enfrenta la Administración municipal, los hospitales y los ciudadanos (especialmente los enfermos).

### **8.3. EL MEDIO AMBIENTE SONORO DE LOS PARQUES Y ZONAS VERDES DE MADRID, Y EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN PRÓXIMA A ZONAS VERDES TRANQUILAS**

#### **8.3.1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN**

La vida urbana y la multiexposición diaria al ruido (Sanz Sa, 1987) se configuran como un panorama hostil (Barrado Timón, 1999) y hacen necesaria la búsqueda de espacios y momentos de descanso para los ciudadanos. Sin embargo, el ritmo diario no permite disfrutar de entornos como los rurales, reservados para los fines de semana y periodos vacacionales (García Álvarez, 1981) por los costes de tiempo y desplazamiento que implican, de manera que es la propia ciudad la que debe aportar a sus inquilinos entornos cotidianos reparadores, de ocio y disfrute, como una de sus dotaciones principales. Estos ambientes restauradores se configuran como espacios (y tiempos) en los cuales el individuo puede defenderse de la distracción y la presión que los ambientes urbanos ejercen sobre la persona (Kaplan, 1983).

En este sentido, las zonas verdes se revelan como piezas clave en la estructura y el planeamiento urbano que contribuyen inequívocamente a la sostenibilidad (Brau *et al.*, 1980): a nadie gusta una ciudad gris y, aunque el asfalto siga siendo su nota predominante, desde la Antigüedad el hombre ha aprendido que las zonas verdes, parques, jardines y espacios libres en general tratan de reproducir la naturaleza en el medio urbano y aportan beneficios no sólo paisajísticos, sino también sociales y sanitarios, a sus moradores. Según señala Valenzuela Rubio (1977), desde el siglo XIX el espacio verde quedó integrado dentro de la ciudad como pieza fundamental para una vida urbana equilibrada, pero con la industrialización y el crecimiento de las ciudades su carácter “decorativo” dejó paso a un enfoque más bien higienista, si bien la necesidad de incorporar la naturaleza a la ciudad dio lugar a una serie de concepciones urbanísticas que intentaron, con mayor o menor acierto, resolver la vieja contraposición ciudad-campo.



En relación con esta compatibilidad individuo-ambiente (Corraliza Rodríguez, 1986), además de su función ornamental, las zonas verdes significan entornos físicos y escenarios de relación social, de ocio y deporte (Rodríguez-Avial Llardent, 1982), de paseo, de disfrute de la flora y fauna, de sosiego y descanso de las actividades diarias y del incesante ruido que suele recorrer las calles de la ciudad, aportando beneficios restauradores, sociales y sanitarios a los ciudadanos (*vid.* Rodríguez-Avial Llardent, 1982; Chiesura, 2004). Personas de todas las edades, solas o en compañía, encuentran en estos enclaves urbanos sitios de refugio para evadirse, aunque solamente sea por corto tiempo, del frenesí y del rumor urbano. En virtud de todas estas funciones, es deseable que estos entornos, aparte de limpios y seguros, sean tranquilos.

Fundamentándose en las teorías de la fitofilia o de la preferencia filogenética por entornos con cierta presencia de vegetación, se puede afirmar que las influencias emocionales que la naturaleza ejerce sobre los sujetos a través de los sentidos, circunscribiéndonos al medio urbano, prácticamente se reducen a los parques y zonas verdes distribuidos por la ciudad. La mayor influencia en el plano psíquico tiene como principal vehículo el color verde predominante en estos equipamientos, el cual, a través del sentido de la vista, puede generar estados de ánimo de tranquilidad y apaciguamiento (Rodríguez-Avial Llardent, 1982).

Una aproximación ecosistémica a la ciudad nos permite entenderla como un ecosistema urbano (Salvo Tierra, 1993 y Roditti, 2000) en constante transformación, en el que existen una serie de flujos y transformaciones de materia y energía necesarios para garantizar su desarrollo y supervivencia, y donde tienen lugar todo tipo de actividades productivas y de servicios. En este entorno, aún bajo la presión edificatoria, cada vez se tienen más en cuenta los espacios verdes, que desempeñan un papel primordial para el funcionamiento y mantenimiento de dicho ecosistema. Son imprescindibles para mejorar la calidad del aire (*e. g.* contribuir a la disminución del CO<sub>2</sub> atmosférico), oxigenar y hacer más respirable la atmósfera urbana, refrescar y reducir el efecto de isla de calor actuando como reguladores microclimáticos (Martínez Sarandeses, *et al.*, 1990), así como por contribuir a graduar los flujos hídricos y el ruido al tratarse de espacios abiertos y con vegetación. La propia fronda que albergan los parques puede actuar como una barrera física o pantalla para la dispersión de las ondas sonoras dentro del dosel urbano, mitigando sus efectos y molestias. Una pantalla vegetal tupida, según su especie y espesor, puede llegar a producir una cierta disminución del ruido percibido tras ella (Alonso Velasco, 1971). Las zonas verdes también son enclaves de atracción para la fauna, favoreciendo el aumento de la biodiversidad de este gran ecosistema que es la ciudad.

Acorde con las indicaciones de la *Ley 37/2003, del Ruido* y las iniciativas del Ayuntamiento de Madrid, este trabajo pretende abordar el problema de la contaminación acústica en la ciudad de Madrid, referido al ruido ambiental exterior en unos subconjuntos del espacio urbano como son las zonas verdes, de manera pionera. La realización de este

estudio cobra especial relevancia en esta gran urbe considerada, según fuentes municipales, como una de las ciudades más arboladas del mundo, concretamente la segunda ciudad con más árboles de alineación en sus calles. Su Ayuntamiento promocionó y emprendió en 1998 el proyecto *Actuaciones de fomento y mejora del arbolado urbano y periurbano para el incremento de la calidad ambiental de la ciudad de Madrid*, en el que se realizó un inventario exhaustivo de los aproximadamente 300.000 ejemplares existentes, y en 2003 se efectuó la primera revisión completa de todos los datos del inventario.

No se conocen referencias de estudios previos enfocados al análisis detallado del ambiente acústico de las zonas verdes de Madrid, y ninguno de los trabajos consultados sobre espacios verdes urbanos se centra en detalle en el problema del ruido. En algunos trabajos se hace mención a la utilidad de las herramientas SIG en relación con el planeamiento urbanístico desde el punto de vista del inventariado de los usos del suelo, para el caso de los parques urbanos de la Comunidad de Madrid (Canosa Zamora *et al.*, 2003), mientras que otros se centran más en su aplicación para la gestión de espacios públicos en general (Lladós Guerrero, 2006). Hay que destacar el esfuerzo que al respecto está haciendo el Ayuntamiento de Madrid por desarrollar un sistema de gestión eficiente e integrado de todo su patrimonio verde, a través de su *Sistema de Información Geográfica de Gestión de Parques y Jardines*, incluido en el SIG corporativo municipal SIGMA (Delgado Bermejo, 2008), enfocado sobre todo a su inventariado y mantenimiento, aunque no a su gestión desde un punto de vista acústico.

Los trabajos más enfocados a la definición de indicadores de calidad urbana ponen énfasis en las adecuadas condiciones acústicas, entre otras, que deben poseer los espacios verdes en general, como *The Sustainable Sites Initiative* (2009) de la *American Society of Landscape Architects*, y también hay referencias a su consideración desde la perspectiva del estudio del paisaje urbano, como la aportación de Canosa Zamora (2010). Desde una visión más relacionada con la naturaleza y la biología existen estudios y catálogos sobre la avifauna en parques urbanos como parte de su paisaje sonoro, así como del impacto acústico que la actividad humana produce sobre la vida silvestre en espacios naturales protegidos, ya excediendo del ámbito urbano.

En el ámbito de la geografía del turismo y del ocio se puede encontrar abundante bibliografía sobre las funciones beneficiosas de los espacios verdes para los ciudadanos, así como las necesidades de espacios para el descanso y la recreación, especialmente en el ámbito anglosajón, como por ejemplo los de Seeley (1973), en donde las adecuadas condiciones acústicas generalmente se mencionan como un factor más de entre los muchos otros considerados. Valenzuela Rubio (1977) hizo un diagnóstico de los parques y jardines madrileños desde el enfoque de la geografía del esparcimiento, concluyendo que hasta la fecha se había dado más importancia a los aspectos ornamentales que a los funcionales en orden de satisfacer las necesidades de esparcimiento de los ciudadanos, unido a una falta de operatividad de las normas de creación de zonas verdes públicas sobre los promotores

privados, tanto en el respeto a las superficies como en la debida adecuación de las mismas a su fin.

Dejando a un lado el caso de estudio, en la bibliografía son escasas las referencias sobre el problema del ruido en los parques. Entre las recientes y más relevantes para nuestro interés pueden reseñarse solo unas pocas. Lam *et al.* (2005) en un estudio sobre la calidad del aire y el ruido en setenta parques y espacios públicos de Hong Kong (China) en el que usaron como indicador sonoro el  $L_{Aeq}$  (entre las 7 y las 19 h), hallaron que el nivel medio era superior a 65 dBA en todos los distritos, excepto en uno. Los parques más pequeños, alargados y próximos a grandes arterias de tráfico eran más ruidosos que los grandes; así mismo la variación intra-parque se manifestó importante, particularmente en los grandes parques, donde los niveles sonoros disminuían desde los bordes hacia el interior de manera notoria. Tras comparar el ruido en los parques con el medido y estimado para zonas residenciales, extraían la decepcionante conclusión de que no había evidencia de poder hallar más tranquilidad en los parques que en casa.

Zannin *et al.* (2006) evaluaron 6 parques en la ciudad de Curitiba (Brasil) mediante el indicador  $L_{Aeq}$ , para lo que realizaron una toma de datos durante el período de 17-19 h por ser el de máxima afluencia de visitantes, situando los sonómetros durante 3 minutos en 303 puntos de los caminos más frecuentados. Los resultados mostraron que en 4 parques no se superaban, como media, los 60 dBA y en los otros 2, los más ruidosos, se alcanzaban los 64,8 y 67 dBA. Dado que usaron varios estándares de evaluación del ruido, algunos parques los cumplían pero otros no. En todo caso, se evidenció que los parques más céntricos, rodeados de vías de tráfico pesado y de zonas de alta actividad comercial no cumplían ninguno, por lo que planteaban que estos equipamientos no satisfacían los fines previstos en la planificación, que había un problema de políticas y proponían diversas medidas.

Con un objetivo algo distinto, Brambilla y Maffei (2006) desarrollaron un experimento cotejando mediciones empíricas de intensidad sonora ( $L_{Aeq}$  y  $L_{95}$ ) en 3 parques de la ciudad de Nápoles (Italia), con la valoración de diversos atributos de dichos parques, entre ellos la sonoridad, por parte de muestras de individuos encuestados *in situ*, junto al lugar de medición. Los resultados evidenciaron que la sonoridad era considerada como muy importante por el 57 % de los individuos, en promedio, aunque fue el aspecto menos importante de los seis evaluados (seguridad, paisaje, silencio, vegetación, aire puro y limpieza).

De lo expuesto se colige cuán escaso es el conocimiento sobre este aspecto del ambiente urbano y cómo los resultados preliminares apuntan a una calidad sonora baja, juicio que se sustenta solo sobre el atributo de intensidad del ruido.

A la luz de lo planteado, y en una gran urbe como es Madrid, resulta de vital interés estudiar el ruido en sus parques y la intensidad con que éste se manifiesta, así como en qué medida estos espacios contribuyen a mitigar el problema de la contaminación acústica en la

ciudad. En definitiva, interesa analizar la “salud acústica” de la que gozan sus parques, en virtud de las funciones beneficiosas que les son propias y que deberían hacerlos constituirse como espacios de sosiego dentro del dosel urbano. No en vano, estos espacios recaen en la categoría de “áreas acústicas de Tipo II (Áreas levemente ruidosas)” destinadas a uso dotacional de zonas verdes, según la Ordenanza municipal de Madrid.

Por otro lado, el estudio de la población accesible a este tipo de espacios urbanos singulares es un asunto aún novedoso y también contemplado en esta investigación, justificado y fundamentado en una línea de trabajo piloto abierta por la Organización Mundial de la Salud (2003), aún por terminar de ensayar, a la que aquí se pretende aportar una luz adicional.

La relevancia de este estudio y de la metodología que propone reside en su potencial contribución a la mejora del bienestar social y humano de los ciudadanos mediante el logro de unas ciudades más saludables. Como posible apoyo a los instrumentos públicos de gestión, se intenta aportar nuevas capacidades para el diagnóstico y, por ende, para afrontar ciertos problemas urbanos y adoptar medidas de mantenimiento o correctoras adecuadas. En definitiva, se asume que invertir en el bienestar y calidad de vida de los ciudadanos, de uno u otro modo, resulta siempre rentable social y económicamente.

### **8.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

No hay duda de que los parques y jardines públicos, por las funciones de bienestar que aportan a los ciudadanos y su contribución a mejorar la calidad de vida, son un tipo de dotaciones especialmente vulnerables al ruido, en virtud de lo cual lo primero que parece relevante preguntarse es ¿cuál es el ambiente acústico de las zonas verdes madrileñas?, es decir, ¿qué niveles sonoros se soportan en ellas? A partir de ahí cabría indagar y valorar si tales niveles sonoros son adecuados o dificultan dichas funciones, especialmente en cuanto al descanso y la tranquilidad. Por otra parte, y desde un punto de vista espacial, es conveniente plantearse otra serie de interrogantes e hipótesis: ¿dónde se ubican las zonas verdes más tranquilas? ¿Son los parques del centro de la ciudad los más ruidosos? ¿Qué zonas verdes de la ciudad son las más penalizadas acústicamente? Y ¿a qué distancia se encuentran las más favorecidas, respecto al centro urbano? A nivel de detalle, ¿qué niveles sonoros se soportan en el interior de los parques más representativos de Madrid y cuál es su variabilidad sonora interna? Por último, ¿qué cantidad de población es accesible a estos espacios tranquilos y cómo evaluarla?

Con el fin de responder las anteriores preguntas se contemplan aquí dos objetivos principales: por un lado, formular un método para la determinación y caracterización de su ambiente acústico con la finalidad de sustentar un posterior análisis descriptivo de la intensidad y variabilidad del ruido en el interior de los parques urbanos de Madrid y, por otro, emitir un diagnóstico sobre la adecuación a las funciones de descanso, recuperación y

disfrute, con miras a apoyar la gestión ambiental municipal en esta parcela competencial. En última instancia, se trata de evaluar este componente de la calidad ambiental exterior urbana en Madrid, cuestión que atañe a las metas contempladas en las políticas sobre ciudades saludables.

Para un apropiado abordaje de estas cuestiones se planteará aquí una serie de propuestas metodológicas, pero antes y de manera más específica, procede enunciar los objetivos concretos avistados en el estudio:

- 1) Determinar y caracterizar sintéticamente el ambiente acústico de las dotaciones verdes urbanas del municipio de Madrid que, por su tamaño, se convierte en referencia para otros municipios.
- 2) Proponer, ensayar y discutir una metodología válida para conocer los atributos del ambiente sonoro que caracteriza a las zonas verdes y la variación espacial del ruido, valorando las ventajas e inconvenientes de la misma. En otras palabras, formular un método de análisis descriptivo de la intensidad y variabilidad espacial del ruido en el seno de los parques urbanos. Por extensión, dicha metodología se vislumbra que pueda ser apta para otros tipos de dotaciones y equipamientos urbanos.
- 3) Estudiar el ambiente acústico interno de un significativo subconjunto de las dotaciones verdes urbanas del municipio de Madrid, mediante un examen de detalle que permita aflorar el patrón espacial de una selección de los parques más representativos de Madrid.
- 4) Enunciar un diagnóstico valorativo sobre la adecuación a las funciones de descanso, recuperación y disfrute que son inherentes a las zonas verdes madrileñas.
- 5) Evaluar la población potencialmente beneficiada por zonas verdes tranquilas en la ciudad de Madrid, avanzando hacia un indicador para su medición.
- 6) Valorar críticamente las diferentes fuentes de información empleadas: cartografía digital de zonas verdes, Plano Acústico de Madrid de 2002 y localización de población.

En suma, se trata de desarrollar un procedimiento novedoso y adecuado para diagnosticar en detalle el ambiente acústico de los parques urbanos, realizando una contribución basada en los datos sonoros del plano acústico de la capital y apoyada en las modernas tecnologías de la información geográfica mediante el empleo de los SIG, que posibilite la ulterior identificación y evaluación de la incidencia potencial que tiene el ruido ambiental de las zonas verdes sobre la población del municipio de Madrid próxima a ellas, y que pueda servir de instrumento de ayuda para la planificación y gestión municipal. Con todo ello se intenta fomentar la explotación y clarificar la forma de emplear los planos acústicos

como una herramienta de análisis y gestión para la mejora de la calidad de vida y la salud de las personas.

### **8.3.3. MARCO CONCEPTUAL**

#### **8.3.3.1. Zonas verdes urbanas**

Según se ha señalado anteriormente no hay duda de que los espacios verdes son parte y función del medio urbano y desempeñan un importante papel en la regulación y reducción de un problema ambiental y social tan crítico como es el del ruido. Dicho esto, la primera cuestión que sobresale al aproximarnos hacia cualquier estudio sobre estos espacios concierne a su propia definición y concepto. Para ello se ha recurrido a la regulación que más cercanamente se ocupa de ellos que es, a nivel municipal, el Plan General de Ordenación Urbana de Madrid<sup>62</sup> de 1997, en cuyo Capítulo 7.2 se indican las diferentes clasificaciones con carácter general de los usos del suelo: en función de su naturaleza, éstos se diferencian en varias categorías, entre ellas el tipo dotacional, que contempla lo que denomina como zonas verdes<sup>63</sup>. Las “condiciones particulares del uso dotacional zona verde” se establecen en el Capítulo 7.8.1 del PGOU, en el que se diferencian las siguientes categorías:

Zonas Verdes Básicas (VB): su diseño tiende a priorizar los elementos ornamentales y las áreas adecuadas para la estancia de personas, con un tratamiento diferenciado entre las zonas de estancia y las de juego.

a) *Zona verde de barrio*: zonas ajardinadas de dimensión pequeña o media, cuyo radio de influencia es local, destinadas a resolver las necesidades más básicas de estancia y esparcimiento al aire libre de la población de los barrios.

b) *Parque de distrito*: zonas ajardinadas o arboladas de superficie media y grande con diversidad de actividades que garanticen distintas posibilidades de esparcimiento dentro del ámbito distrital.

Zonas Verdes Singulares (VS): dado su carácter de dotación especializada no se establecen condiciones particulares para su diseño.

---

<sup>62</sup> En adelante PGOU.

<sup>63</sup> A la vista de la caracterización que la legislación hace de las zonas verdes, parece que éste es el término más apropiado para hacer referencia al tema aquí estudiado, por lo que será el empleado en adelante.

c) *Parque urbano*: incluidos dentro del tejido urbano, presentan, junto a los parques de distrito, una singularidad en relación a su carácter histórico o por los equipamientos que en ellos se enclavan, lo que determina un ámbito de influencia a nivel de ciudad.

d) *Parque metropolitano*: áreas con un carácter predominantemente forestal, que ofrecen al ciudadano una amplia gama de actividades de tipo cultural, recreativo y de ocio integrables en el medio natural, así como en relación con el conocimiento y disfrute del mismo dentro del marco metropolitano.

Con ciertas restricciones y según su superficie, las zonas verdes pueden disponer de una serie de usos compatibles, como instalaciones deportivas, culturales y educativas (preferentemente para actividades de investigación y de instrucción a la población sobre las características propias de la zona verde, *e. g.* educación ambiental), y/o autorizables, como aparcamientos subterráneos, estaciones de servicio y de suministro de combustible para vehículos y otros usos terciario-recreativos.

En el término municipal de Madrid existe una desigual distribución espacial de las zonas verdes (*vid.* figura 8.20.): mientras que hacia el centro predominan las de reducido tamaño, ya sean de barrio o pequeños parques y jardines históricos, en las zonas de ensanche (algunas ya totalmente absorbidas por el crecimiento urbano) y nuevos desarrollos urbanísticos son generalmente de mayor superficie y están dotadas de mayor número de servicios. Asimismo, existe un gran número de zonas verdes de borde en torno a grandes vías de comunicación.

Existe una amplia normativa reguladora de la protección de las zonas verdes y de los elementos vegetales, dentro de la que merecen destacarse la *Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo, de la Comunidad de Madrid* <sup>64</sup>, la *Ley 8/2005, de 26 de diciembre, de Protección y Fomento del Arbolado Urbano de la Comunidad de Madrid*, o el *Decreto 18/1992, de 29 de marzo, por el que se aprueba el catálogo regional de especies amenazadas de fauna y flora silvestre y se crea la categoría de árboles singulares*, entre otras. En lo que se refiere a la regulación concreta de las zonas verdes, el PGOUM remite a las ordenanzas municipales específicas aplicables.

### 8.3.3.2. Entorno acústico

El entorno acústico de un equipamiento urbano se corresponde con la porción del espacio próximo que lo rodea, considerada como su entorno significativo de cara a la

---

<sup>64</sup> Modificada por la Ley 2/2005, de 12 de abril, de Modificación de la Ley 9/2001, del Suelo de la Comunidad de Madrid.

caracterización acústica del mismo, para las actividades que en él se dan. Desde el punto de vista conceptual, la formulación de “entorno acústico” ya ha sido explicada con anterioridad y de manera más amplia en el apartado 8.2.3.2.

#### 8.3.3.3. Población accesible a zonas verdes tranquilas

Profundizar en el estudio del problema del ruido en Madrid y su afección sobre la población pasa necesariamente por considerar la accesibilidad a estos espacios reparadores enclavados en la trama urbana. En este sentido, el presente estudio se inscribe en la línea de trabajo que inició el *European Centre for Environment and Health (ECEH)* de la Oficina Regional para Europa de la Organización Mundial de la Salud (OMS), a raíz del *WHO technical meeting on noise and health indicators* celebrado en abril de 2003 en Bruselas (Bélgica), en el que se propusieron y discutieron una serie de indicadores, con vistas a su posterior ensayo y experimentación, que mejor reflejasen y permitieran el seguimiento del impacto del ruido sobre la salud. Su contexto es un amplio marco de trabajo de indicadores sobre salud ambiental contemplado en los proyectos *Development of environment and health indicators for EC countries* de la Comisión Europea y *ECOEHIS* de la OMS, encaminados a estudiar la salud pública ambiental para la planificación, seguimiento y evaluación de políticas, planes, programas y acciones, así como a realizar comparativas internacionales, con la intención de no limitarse sólo a las molestias y trastornos del sueño como únicos impactos del ruido sobre la salud.

Particularmente, el examen aquí realizado se basa en uno de los nuevos indicadores propuestos, el definido como *Population having pedestrian access to public quiet areas (within a 500 m distance)*, ideado para determinar la posibilidad de tener acceso peatonal a zonas tranquilas desde el lugar de residencia cuando se desea, y encaminado a constituirse como herramienta a disposición de las administraciones locales para el análisis de las zonas tranquilas existentes y/o creación de otras nuevas.

En su formulación inicial, dicho indicador presenta una serie de precisiones que a continuación se detallan. Por una parte considera como zonas tranquilas aquéllas donde no existen fuentes sonoras asociadas a grandes infraestructuras de transporte ni industriales, si bien no tienen por qué ser necesariamente áreas de silencio ni tampoco espacios abiertos, sino que se entienden más bien como zonas con paisaje sonoro relajante y que además sean libremente accesibles al público general. Según estas premisas, incluirían parques públicos y jardines, áreas peatonales, museos, paseos fluviales, centros culturales, bibliotecas públicas, etc., por lo que estaría contemplando, entre otras, las zonas verdes de las que se ocupa este trabajo. Y por otra parte, considera que el acceso a las mismas desde el lugar de residencia es realizado a pie.



#### **8.3.4. CUESTIONES METODOLÓGICAS Y PROCEDIMENTALES**

En este apartado se describen y discuten, en primer lugar, las fuentes de datos, y a continuación los aspectos metodológicos y la lógica procedimental para el diagnóstico del ambiente acústico del conjunto de las zonas verdes de Madrid, eventualmente adaptables también a otras dotaciones urbanas. Se plantean las diferentes posibilidades técnicas y se realiza una valoración crítica de sus fortalezas y debilidades o limitaciones.

El estudio contempla asimismo el estudio del ambiente sonoro interno de algunos parques representativos de la ciudad, a través de una serie de análisis de casos en los que se examinará con detalle el patrón espacial y la variabilidad intra-parque del ruido en relación con su tamaño, forma, las actividades que soporta, las funciones urbanas del entorno y las principales fuentes generadoras de ruido.

Fundamentalmente se ha empleado la tecnología SIG como instrumento para gestionar y analizar la información a través de un modelo de datos vectorial, con el programa informático ArcGIS. La información cartográfica digital con la que se ha trabajado ha sido adecuadamente proyectada y georreferenciada.

##### **8.3.4.1. Definición del modelo de datos y fuentes**

Las fuentes de datos<sup>65</sup> conciernen a la información relativa a las zonas verdes por un lado y a la intensidad acústica exterior por otro. A continuación se describe la preparación del modelo de geodatos para el ulterior análisis.

###### ***8.3.4.1.1. Obtención de los parques y zonas verdes objeto de estudio***

En esta fase el objetivo primordial fue obtener una cartografía digital de zonas verdes de Madrid lo más rigurosa y coetánea posible con la información acústica disponible (referida al Plano Acústico de Madrid de 2002). Para ello, se partió de la cartografía digital oficial del Plan General de Ordenación Urbana de Madrid, que recoge los usos del suelo de las dotaciones de ordenación contempladas en el planeamiento urbanístico. Se seleccionaron los polígonos calificados como “Zona Verde Básica” y “Zona Verde Singular”, comprobando su nomenclatura contenida en sus atributos.

---

<sup>65</sup> Se desea agradecer al Ayto. de Madrid por la información cartográfica facilitada para la realización de este estudio.

Habida cuenta de la variedad de espacios verdes existentes en Madrid se hubo de proceder a una delimitación operativa de los mismos. De entre todo el conjunto fue preciso, primeramente, seleccionar los polígonos de las zonas verdes candidatas que se ajustasen a los objetivos de este estudio conforme a diversos criterios excluyentes que se describen a continuación, empleando para ello diferentes técnicas de selección espacial y de atributos con SIG:

- a) Cobertura por la cuadrícula del Plano Acústico: se descartaron, en primer lugar, los que no estaban cubiertos o lo estaban escasamente por la cuadrícula que conforma el Plano Acústico de Madrid dado que, por tanto, iban a carecer de información sonora que les pudiera ser asociada o ésta iba a resultar insuficiente. Éste fue el caso de la Casa de Campo, Monte de El Pardo, Parque de Juan Carlos I, Parque de Entrevías, Parque de la Alameda de Osuna (El Capricho), etc. En otras situaciones se encontraron polígonos de zonas verdes cubiertos en mayor medida por la cuadrícula, aunque también parcialmente y con un índice de cobertura que no alcanzaba el 50 % de su superficie, por lo que hubieron de ser descartados, como fue el caso del Parque del Cerro de la Plata y del Castañar, por ejemplo.
- b) Tamaño: el PGOUM, como referencia normativa, establece que la superficie mínima de las Zonas Verdes Básicas debe ser de 0,05 ha (500 m<sup>2</sup>) en suelo urbano y de 0,1 ha (1.000 m<sup>2</sup>) en suelo urbanizable (las de nueva creación). Sin embargo estas dimensiones, aparte de su discutible representatividad en relación con las funciones presupuestas para este tipo de dotaciones urbanas (véase apartado 8.2.1.), por un lado resultan de muy poca entidad espacial desde el punto de vista de la caracterización acústica de tales espacios y, por otro, son muy inferiores a los propios cuadrados muestrales que conforman la cuadrícula del Plano Acústico, de 4 ha (200 x 200 m, es decir, 40.000 m<sup>2</sup>) cada uno. Por estos motivos y, también con la intención de no considerar los espacios verdes urbanos de “relleno” intersticial, se decidió calcular la superficie en hectáreas de todos los polígonos de zonas verdes y posteriormente excluir aquéllos cuya extensión fuese demasiado pequeña. El tamaño mínimo adoptado fue de 2,5 ha (25.000 m<sup>2</sup>), poco mayor, pues, que medio cuadrado del Plano Acústico; con ello se buscó una adecuada coherencia espacial entre la información urbanística y acústica disponibles.
- c) Titularidad: se consideraron solamente los espacios de titularidad pública, dado que el objetivo es caracterizar el ambiente acústico de los parques y zonas verdes accesibles para los ciudadanos como usuarios. El Club de Campo Villa de Madrid o el Real Club Puerta de Hierro son algunos de los que fueron excluidos conforme a este criterio.
- d) Uso: muchas de las zonas verdes urbanas de Madrid están destinadas a usos mayoritarios distintos de los considerados para los parques, sobre todo en los casos de

predominio de equipamientos deportivos. Por este motivo se descartaron, por ejemplo, las Instalaciones Deportivas del Canal de Isabel II.

La figura 8.20. representa la aplicación de los dos primeros criterios de selección, los más decisivos, sobre la totalidad de zonas verdes de la capa cartográfica digital de Dotaciones de Ordenación del PGOUM. Se representan en rojo los polígonos cuya superficie no alcanza las 2,5 ha y en verde el resto, y se superpone la cuadrícula del Plano Acústico de Madrid, pudiendo observar los polígonos que quedan fuera de la misma y a los que por tanto no será posible asignarles ningún dato sonoro. La figura 8.21. muestra el conjunto final, resultando seleccionadas un total de 99 zonas verdes.

Una vez seleccionados los polígonos de zonas verdes candidatas según los criterios recién descritos, con la finalidad de comprobar y precisar el grado de afinamiento de esta cartografía se procedió a una doble revisión con otras fuentes. Por una parte en cuanto a su delimitación, conforme a la imagen de satélite de Madrid, la *Cartografía Digital de Madrid a escala 1:1.000 de 2003*<sup>66</sup> del Área de Gobierno de Urbanismo, Vivienda e Infraestructura del Ayto. de Madrid (concretamente las capas de zonas verdes y jardines, manzanas, parcelas y edificios), así como también con cartografía elaborada por Canosa Zamora *et al.* (2003) en su estudio. Por otra, en cuanto a su nomenclatura, se revisó según el *Mapa de la División Administrativa Municipal de Madrid de 2002* del Ayto. de Madrid, la *Guía-callejero de Madrid de 2002* con cartografía realizada sobre datos oficiales (Almax, 2001), la capa de anotaciones topográficas de la *Cartografía Digital de Madrid a escala 1:1.000 de 2004*<sup>67</sup> del Área de Gobierno de Urbanismo, Vivienda e Infraestructura del Ayto. de Madrid y también con la cartografía de Canosa Zamora *et al.* (2003). Finalmente, como resultado de esta serie de comprobaciones, se valoró satisfactoriamente la exactitud de los polígonos seleccionados provenientes del PGOUM.

Llegados a este punto y, considerando el ulterior estudio detallado del ambiente acústico de algunos parques de Madrid, del total hubo que hacer la selección de un subconjunto de los representativos de la ciudad, partiendo de considerar un tamaño mínimo de parque para poder contener en su interior un número de datos sonoros (centroides de los cuadrados del Plano Acústico de Madrid) suficiente como para hacer emerger el patrón sonoro intra-parque y diferencias acústicas interiores significativas. Tras diversas consideraciones se estableció que su superficie fuese igual o mayor a 20 ha (equivalente a 5 cuadrados del Plano Acústico) y además que el número de datos (centroides) contenidos en el parque no fuese inferior a 15. Teniendo en cuenta estos criterios concretos, podrían ser susceptibles de este análisis de detalle 15 parques. Dado que la cifra de casos es

---

<sup>66</sup> El motivo de emplear ésta fue la falta de disponibilidad o de atributos de la cartografía digital correspondiente al año 2002, coetánea con la información acústica empleada.

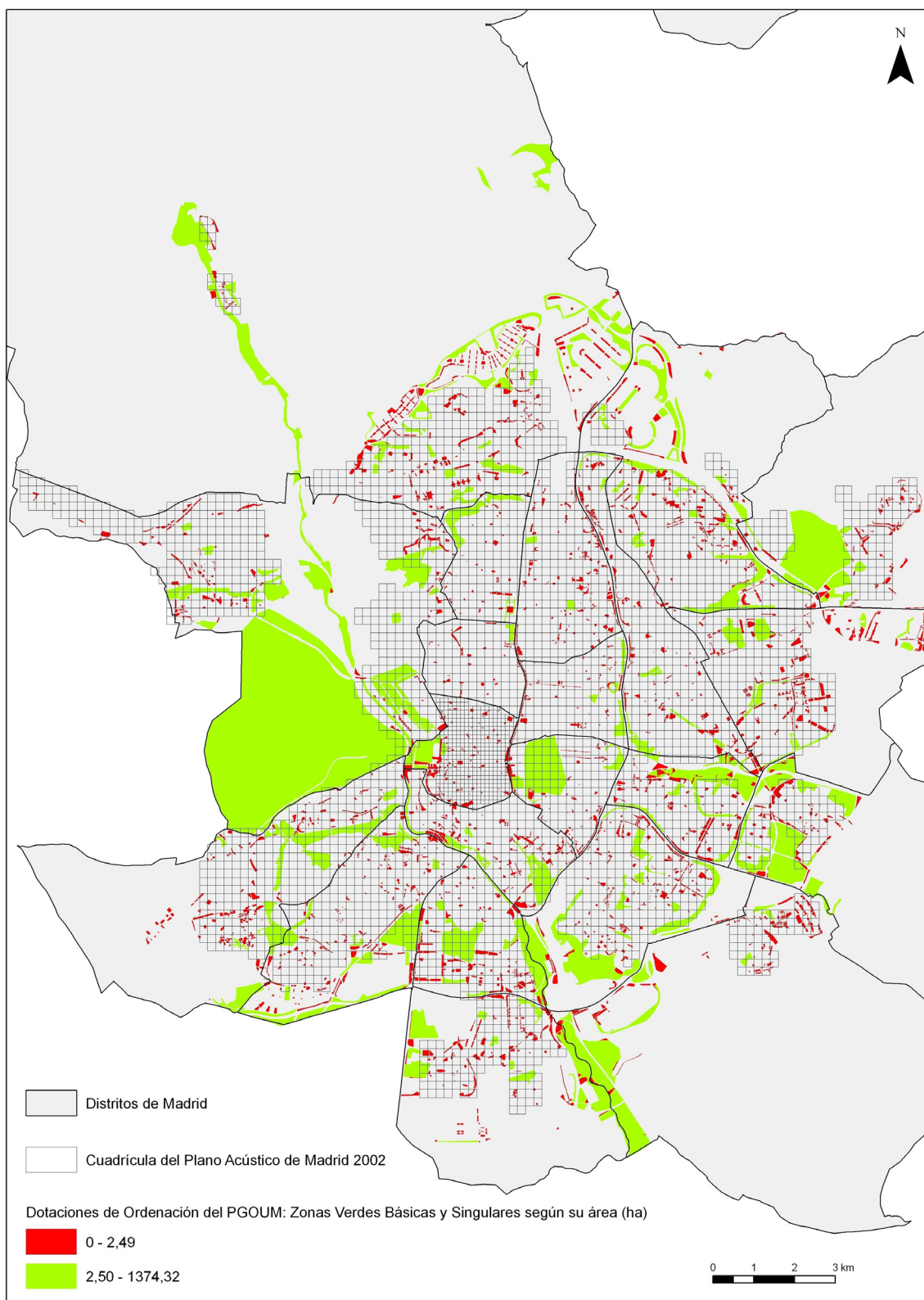
<sup>67</sup> El desfase temporal entre esta cartografía y la información sonora del Plano Acústico de Madrid de 2002 se debe a la falta de calidad de los datos cartográficos anteriores y por tanto su inconveniencia de uso.

demasiado alta para su presentación pormenorizada en los límites de este trabajo, se han seleccionado 5 de ellos (*vid.* figura 8.22.), por su relevancia, significación y/o representatividad de los variados contextos de la ciudad: Parque del Buen Retiro (1), Parque del Oeste (2), Parque de la Cuña Verde de Latina (3), Parque de Pradolongo (4) y Parque de San Isidro (5).

De entre las distintas categorías de zonas verdes contempladas a nivel municipal por el PGOUM (“uso dotacional zona verde”), los seleccionados para este estudio de detalle se enmarcan en los siguientes dos grupos:

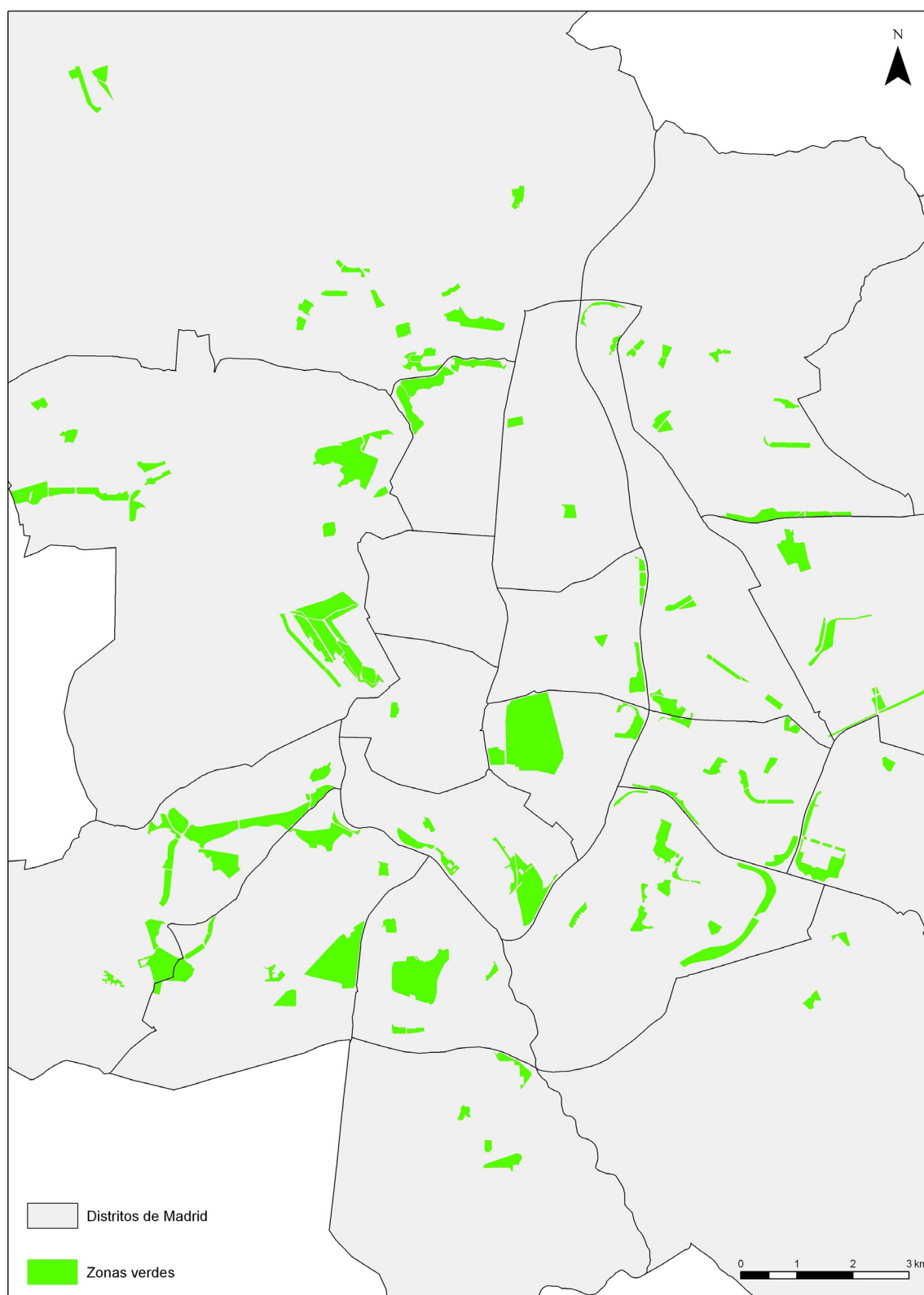
- Zonas Verdes Básicas (VB): *Parque de distrito.*
- Zonas Verdes Singulares (VS): *Parque urbano.*

Figura 8.20. Aplicación de criterios de selección de polígonos de zonas verdes: cobertura por la cuadrícula del Plano Acústico de Madrid y tamaño mínimo.



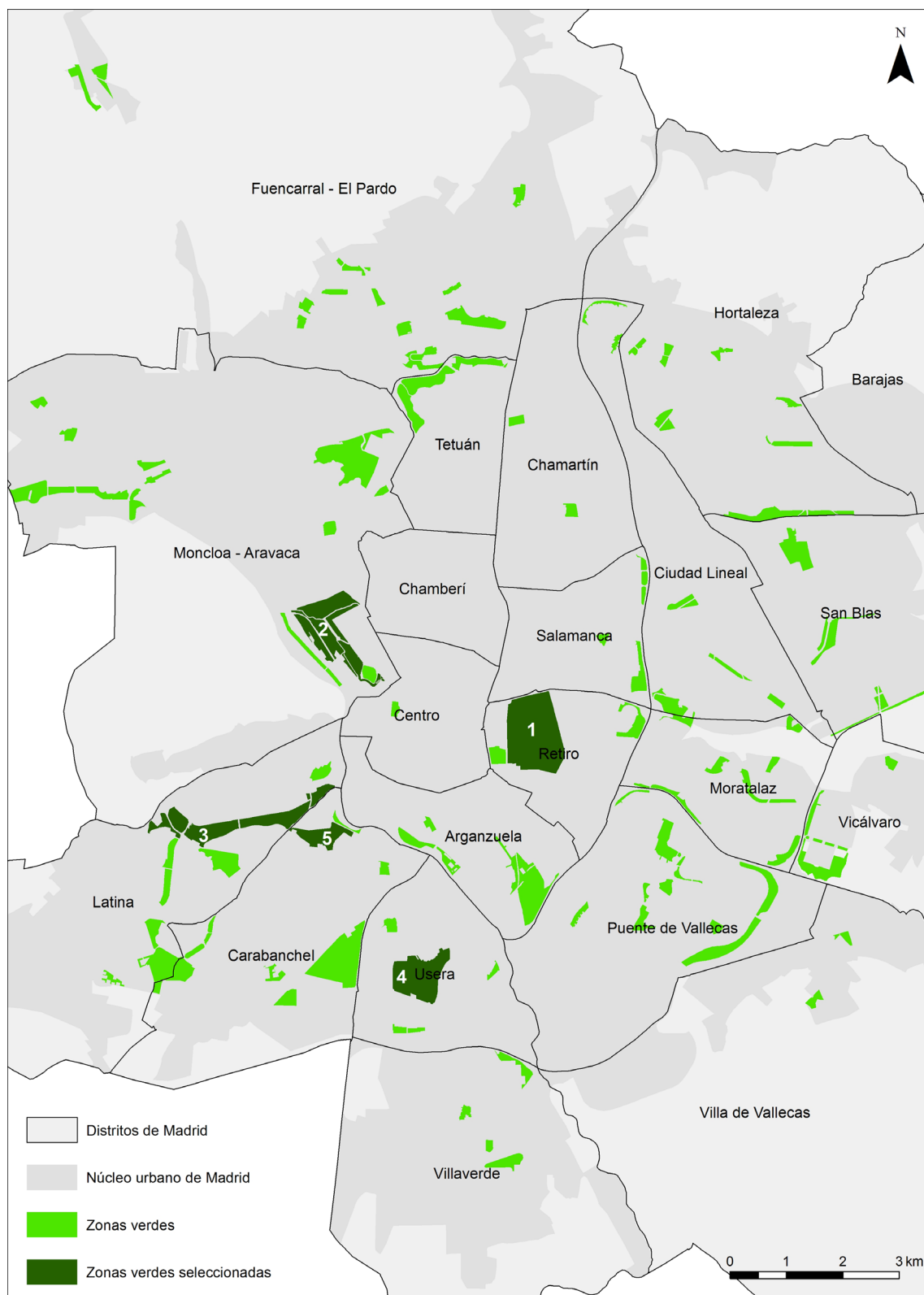
Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Figura 8.21. Zonas verdes objeto de estudio en el municipio de Madrid (total = 99).



*Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

Figura 8.22. Localización de los cinco parques urbanos de Madrid seleccionados para el análisis de detalle.



*Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM.*

#### **8.3.4.1.2. La información sonora**

La fuente de datos sonoros corresponde a la información aportada por el Plano Acústico de Madrid de 2002. Sus posibilidades y características como modelo de geodatos, ya sea como cuadrados (polígonos) o como puntos (centroides), ya han sido explicadas y valoradas con anterioridad en esta misma línea de la investigación sobre afección potencial del ruido en equipamientos sensibles de Madrid, concretamente cuando se estudió la caracterización del entorno acústico de los hospitales (*vid.* apartado 8.2.4.1.2.), por lo que no serán detalladas aquí de nuevo.

#### **8.3.4.2. Método para la determinación del ambiente acústico de las zonas verdes**

Una vez determinados los parques y zonas verdes a estudiar, plantearse la caracterización y examen del ambiente acústico de los mismos supone la previa asignación del atributo o dato sonoro asociado a cada uno de ellos. Para la consideración del entorno sonoro de cada zona verde se ha decidido emplear como indicador sonoro el  $L_{Aeq\text{ día}}$  (dBA), de acuerdo con la función y usos propios de este tipo de dotaciones urbanas a las que se acude mayoritariamente durante el periodo diurno (considerado entre las 7 y las 23 h según la normativa vigente en ese momento).

Existe dificultad para fijar los límites del entorno acústico, *i. e.* en aplicar un criterio para decidir a partir de qué lugares los niveles sonoros dejan de ser significativos, de manera que en la mayoría de las ocasiones seguramente habrá una gradación con fronteras difusas. Sin dejar de tener en cuenta esta limitación, la consideración del ambiente acústico de este tipo de dotaciones ha estado condicionada fundamentalmente por dos factores: el detalle espacial de los polígonos de zonas verdes existentes y, sobre todo, la estructuración de la información sonora disponible, la cual se consideró en forma de puntos (centroides) como modelo más apropiado.

En esta investigación, para la asignación del dato sonoro asociado a cada zona verde se tomaron en consideración no sólo los centroides de los cuadrados del Plano Acústico incluidos en el área interior del propio recinto (asumiendo que van a ser los que mejor caractericen su ambiente acústico), sino también los de la porción significativa del espacio que lo rodea, es decir, su entorno próximo, éste último a modo de banda sonora circundante, considerando que éste también ejerce influencia sobre el nivel sonoro percibido dentro de los límites del parque. Con ello se intenta tener en cuenta la ausencia de límites netos asociados a la naturaleza de la información sonora y su propagación. Además, así se solucionaría el hipotético caso de que alguna zona verde de pequeño tamaño no tuviese ningún centroide contenido en su interior, y por tanto quedase sin dato sonoro asignado.



Siguiendo estas premisas, se ha calculado el valor medio del nivel sonoro de los centroides contenidos dentro del polígono del parque y de los ubicados hasta una distancia de 141,5 m respecto al borde del parque, a modo de *buffer*. Si recordamos que la longitud del lado de cada cuadrado del Plano Acústico es de 200 m, por lógica, la separación entre centroides será igualmente de 200 m (excepto en el ya mencionado caso del distrito de Centro, que será de 100 m), de manera que la cifra anteriormente propuesta responde a la distancia máxima de separación que podría existir entre el borde de un parque y el centroide más lejano de su entorno de influencia (141,421 m, equivalente a la mitad de la diagonal de los cuadrados), incrementada muy ligeramente para asegurarse de considerar los casos límite.

Procedimentalmente, las herramientas SIG permiten efectuar una unión espacial de ambas capas de información, una poligonal (zonas verdes) y otra puntual (centroides de los cuadrados del Plano Acústico), con la consideración de un *buffer* de radio 141,5 m alrededor de cada polígono, y especificando en las opciones de geoprocésamiento disponibles que simultáneamente se calculen varios estadísticos básicos sobre los valores de intensidad sonora de los centroides que queden dentro: máximo, mínimo, media, etc., los cuales ayudarán a un posterior análisis, siendo adecuada la media para caracterizar cada ambiente acústico, a la vez que otros estadísticos como la amplitud total pueden aportar información acerca de la variabilidad sonora existente.

Tras esta operación se obtiene una capa cartográfica digital de tipo poligonal de zonas verdes cuya tabla de atributos asociada contiene no sólo la información de parques (nombre, superficie, etc.), sino que le ha resultado añadida la correspondiente a la acústica. Es decir, a cada registro (zona verde) se le ha asignado la información sonora de su ambiente y es posible consultar qué niveles sonoros soporta durante el periodo temporal considerado. La casuística de situaciones operables podría permitir la posibilidad de que un mismo centroide resultase próximo a dos zonas verdes cercanas, de manera que éste será tenido en consideración para el cálculo de los respectivos ambientes sonoros de ambos polígonos.

Finalmente, hay que añadir que el ya comentado encorsetamiento que supone la información cuadrículada del Plano Acústico, el desconocimiento de la localización exacta de los puntos muestrales a partir de los cuales se elaboró y la desafortunada generalización de los datos sonoros a través del redondeo (*vid.* apartado 6.2.3.6.), no menoscaban el valor que dicho Plano posee, sino que se considera una meritoria fuente de información sin la que este estudio no habría podido llevarse a cabo.

#### 8.3.4.3. Métodos para la evaluación de la población próxima a zonas verdes tranquilas

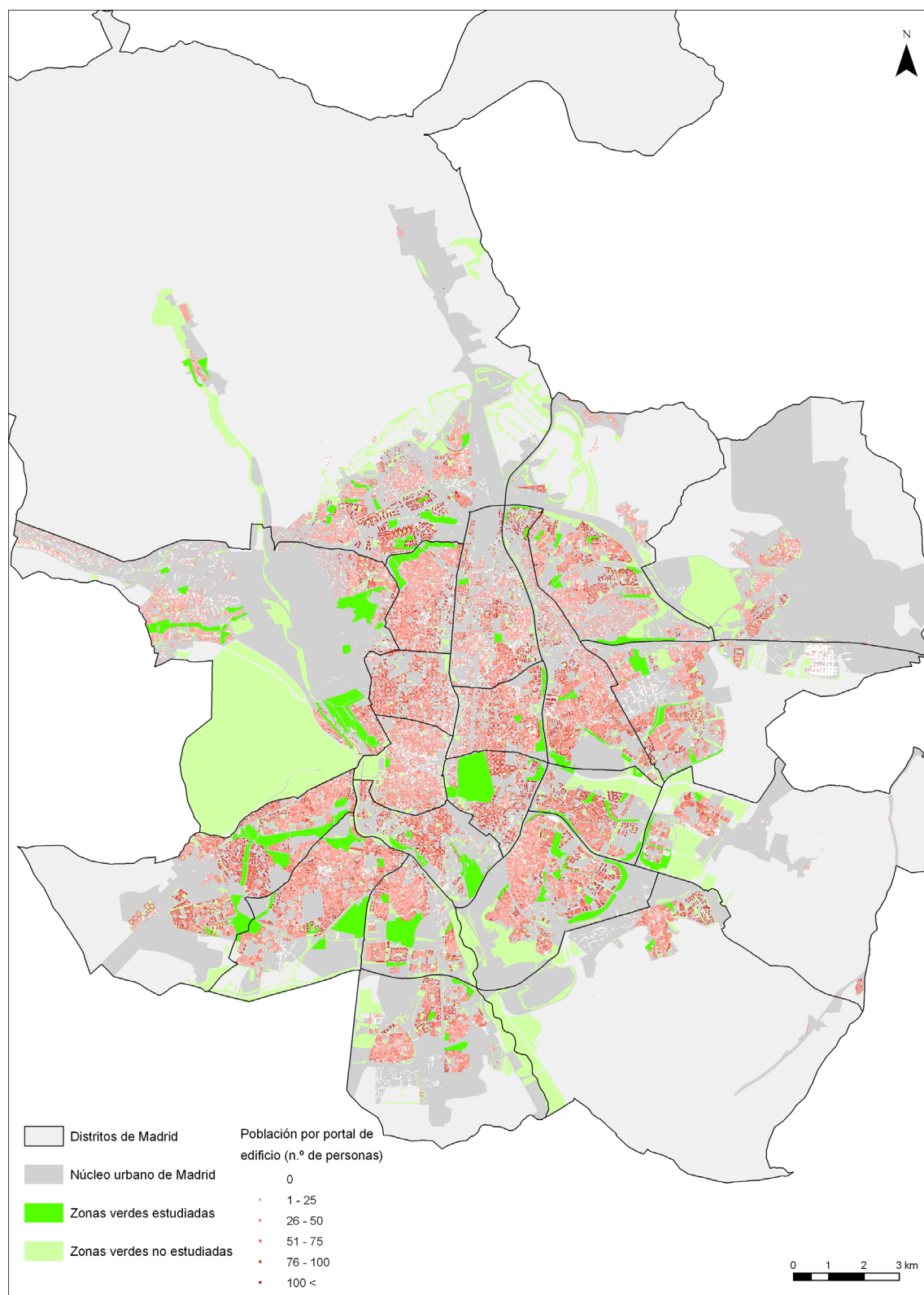
La caracterización del ambiente acústico de las zonas verdes de Madrid según el método anteriormente expuesto puede aportar una valiosa información a partir de la cual profundizar en el estudio del problema del ruido en esta ciudad y su afección sobre la población. Fundamentada en el indicador anteriormente mencionado "*Population having pedestrian access to public quiet areas (within a 500 m distance)*", propuesto en el *WHO technical meeting on noise and health indicators*, se ha planteado aquí también una aproximación para evaluar la población próxima a estos espacios, que supuestamente deben proporcionar tranquilidad en el interior del tejido urbano de Madrid.

La consideración de este indicador presenta la exigencia de diversas fuentes de información. En primer lugar, se necesitan tanto la identificación y delimitación de estas áreas tranquilas, como los datos sonoros (generalmente provenientes de un plano acústico). Para su aplicación al caso de la ciudad de Madrid, ello ya se ha solventado aquí tras el anteriormente mencionado trabajo previo de recopilación de la cartografía digital urbanística y la selección de polígonos de uso dotacional de zona verde, con su asignación de atributos sonoros asociados. En segundo lugar, también requiere de la información demográfica pertinente, para lo que se solicitó y obtuvo del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid un fichero de puntos con los portales de los edificios, que cuenta con la información asociada de su localización y la población residente en cada uno de ellos, según el Censo de Población y Viviendas de 2001, coetáneo por tanto a la elaboración del Mapa Acústico de Madrid.

Estos datos demográficos tuvieron que ser preprocesados, pues algunos de los portales suministrados en dicho fichero no poseían información de coordenadas X e Y, debiendo ser excluidos al no poderlos localizar espacialmente (ello supone que de los 2.693.359 habitantes totales registrados en dicho fichero correspondiente al Censo, la población total considerada en este estudio ha pasado a ser de 2.573.383 personas). Tal circunstancia implica una fuente de error en los resultados, de imposible valoración en cuanto a los métodos que se usarán aquí. Por otra parte, la población oficial del municipio de Madrid publicada en el mencionado Censo es de 2.938.723 habitantes, que asimismo difiere un tanto de la cifra recogida en el fichero recibido, estimando que dicha variación se debe en parte al doblamiento disperso y, en parte, al procesamiento geográfico de la información poblacional por parte de dicho organismo, y que aquí resulta imposible rectificar.

El aspecto de la distribución de población según portales de edificios de Madrid es el que se muestra en la figura 8.23., en la que también se han representado las zonas verdes estudiadas y las no contempladas en este trabajo (tras aplicar los criterios de selección ya explicados en el apartado 8.3.4.1.1.).

Figura 8.23. Distribución de población por edificios de Madrid (2001) y de zonas verdes estudiadas / no estudiadas en este trabajo



*Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.*

Con estas premisas, este estudio plantea dos métodos para cuantificar esa población próxima a zonas verdes: en primer lugar uno lo más ajustado posible al indicador mencionado y, a continuación, otro en el que se intenta obtener un resultado más refinado y preciso conforme a los objetivos avistados. Seguidamente se explican ambos:

### *Método 1. Población potencialmente accesible a zonas verdes tranquilas de modo peatonal*

El indicador propuesto por la OMS contempla evaluar únicamente a la población que, caminando, puede acceder a zonas verdes tranquilas distantes como máximo 500 m respecto a su residencia. Metodológicamente, podría llevarse a cabo una aproximación cuantitativa considerando el entorno próximo o zona de influencia de cada zona verde a modo de banda circundante o *buffer* de radio 500 m alrededor de cada polígono a partir de su borde.

Procedimentalmente, las herramientas SIG permiten efectuar posteriormente una unión espacial de dos capas de información, poligonal (*buffers* obtenidos) y puntual (portales con dato de población residente en ellos), especificando en las opciones disponibles que simultáneamente se calculen estadísticos de la población (como el sumatorio, que ayudará al posterior análisis de la misma) a partir de los portales que queden dentro de las áreas próximas. Conviene señalar que la casuística de situaciones operables podría ocasionar que un mismo portal quedase contenido en dos o más áreas de influencia de diferentes zonas verdes relativamente próximas entre sí y sea contabilizado repetidamente. Al tratarse de *buffers* con límites disueltos, es decir, sin solapamientos, se resuelve este posible problema y así cada portal es tenido en consideración tan solo una vez de cara al cómputo total de la población de Madrid próxima a zonas tranquilas, mientras que si se realizase el cálculo de la población accesible a cada parque por separado<sup>68</sup> sí que debería ser tenido en cuenta para cada polígono (en este caso, la suma de la población próxima a cada parque por separado excedería lógicamente a la total).

Tras esta operación se obtendría una capa cartográfica digital de tipo poligonal de áreas próximas a zonas verdes, a cada una de las cuales se le habrá añadido la información poblacional, como podrá verse reflejado en su tabla de atributos asociada. Es decir, a cada registro (entorno próximo a zona verde) se le habrá asignado la información del número de personas que residen en él.

Por otro lado, el cálculo de estas áreas próximas considera una distancia de 500 m en línea recta a partir del borde del polígono de cada zona verde. Una alternativa podría ser adoptar esa distancia siguiendo el viario urbano, por ser ése el recorrido real que un

---

<sup>68</sup> Como posible desarrollo futuro de la investigación.

ciudadano debería seguir a pie hasta llegar al límite del parque. Lamentablemente, ello no pudo ser realizado por falta de consistencia topológica en la cartografía urbanística digital disponible.

Valorando críticamente el método esbozado en el WHO ECEH, el procedimiento resulta algo simple por cuanto establece un alcance o límite espacial nítido para cuantificar la población potencialmente beneficiada, sin tener en cuenta los factores que influyen en la atracción y conducta espacial de los usuarios de parques.

### *Método 2. Población potencialmente accesible a zonas verdes tranquilas de modo peatonal, con conducta espacial elástica respecto al tamaño y distancia a ellas*

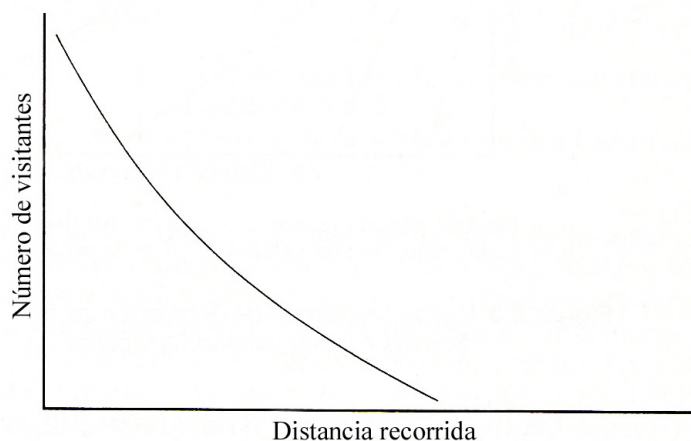
Como primera reconsideración respecto al método anterior, en urbes como Madrid cabría proponer ampliar el radio de influencia aplicado, pues una persona normal puede tardar aproximadamente unos 7 minutos en recorrer 500 m (a paso normal, *i. e.* de unos 4 km/h), y parece plausible pensar que estaría dispuesta a caminar algo más hasta llegar a una zona tranquila donde poder disfrutar un tiempo razonable, para relajarse y descansar en un entorno reparador.

Por otro lado, si por analogía con otros tipos de equipamientos se considera que el tamaño de los parques y zonas verdes constituye una variable influyente en su capacidad de atracción, radio de alcance o, lo que es lo mismo, en el número potencial de personas o usuarios que podrían visitarlo, parece razonable proponer una función decreciente con la distancia, inspirada en los estudios sobre *distance decay* (o deterioro de los fenómenos geográficos con la distancia) recogidos por Taylor (1975). En general, cuanto mayor sea la distancia a recorrer hasta un determinado destino menor número de visitantes recibirá éste (Smith, 1992) y menor frecuencia de visitas tendrá, constituyendo una tendencia descendente con la distancia, según la curva hipotética de declinación de flujo representada en la figura 8.24. Las diferentes posibles caídas de la curva expresarán el poder de atracción del parque, en relación con la lejanía y según su interés. Dentro de las instalaciones beneficiosas para el entorno, cuya utilidad social es mayor para aquéllos más cercanos a ellas, como es el caso de los parques públicos, el declive de esta utilidad con la distancia es más bien gradual, frente al caso de otras instalaciones como podrían ser, por ejemplo, las de protección contra incendios, en que resulta mucho más abrupto (Smith, 1992).

De la revisión bibliográfica sobre el tema de la conducta espacial de los usuarios de zonas verdes cabe citar el trabajo de Joardar (1989), quien constató que la frecuencia media de visitas a parques se reduce un 44 % al pasar de residencias cercanas (hasta 200 m) a más lejanas (400 m o más), si bien su análisis se fundamenta en parques de ciudades en vías de desarrollo, en concreto Calcuta (India). En cualquier caso, los estudios apuntan a que siempre va a existir una proporción de ciudadanos, aunque sea pequeña, que estén dispuestos a desplazarse largas distancias hasta grandes parques y zonas verdes, si es que

éstos disponen de una amplia oferta de equipamientos (Greater London Council, 1968, p. 128). Goicoetxea *et al.* (1988), en su estudio sobre el Parque del Buen Retiro de Madrid basado en encuestas, revelaron que los visitantes, aún teniendo otro parque más cercano a su lugar de residencia, acuden a éste por su aspecto estético así como por sus holgadas dimensiones y oferta de actividades culturales y de ocio, si bien la distancia es la variable más influyente y determinante de la accesibilidad al recinto, apreciándose con su incremento una disminución en la frecuencia de visitas y un aumento lógico del tiempo de desplazamiento, además de que también está relacionada con el comportamiento de los usuarios (actividades que van a realizar, valoración que tienen del parque, etc.).

Figura 8.24. Curva hipotética de reducción del n.º de visitantes según el aumento de la distancia a recorrer.



*Fuente: Smith (1992, p. 55).*

Profundizando en la relación tamaño-alcance de las zonas verdes, existe una gran disparidad de criterios cuantitativos entre unos autores y otros. Según el *Manual municipal de urbanismo* de Brau *et al.* (1980) los parques urbanos (a nivel municipal) con un tamaño mínimo de 1 ha presentan un radio de servicio óptimo de 500 m y máximo de 3.000 m. Por otra parte, García Álvarez (1981) establece para los jardines de barrio, de 3-8 ha, una distancia de atracción de 500 m desde la vivienda; para los parques urbanos, de 30-75 ha, un tiempo de acceso de aproximadamente 20 minutos desde cualquier punto del núcleo urbano; y para los parques metropolitanos, de 200-800 ha, un tiempo de 45-60 minutos desde el centro de la ciudad. En un estudio realizado sobre los parques de Londres, Patmore (1972) llega a la conclusión de que el óptimo de visitas a parques inferiores a 10 acres (4 ha aprox.) recorren una distancia inferior a 0,25-0,5 millas (400-800 m aprox.), mientras que los superiores a 50 acres (20 ha aprox.) reciben visitantes provenientes de más de 1-2 millas (1.600-3.200 m aprox.). Estudios del Ayuntamiento de Londres (Greater London Council, 1968) sobre el uso de espacios abiertos revelan que los parques con un área mínima de 2 ha son adecuados para residentes a 200-400 m, los de un mínimo de 20 ha para 1.200-1.600 m y de un mínimo de 60 ha para residentes hasta 8.000 m. En Madrid, el mencionado

estudio de Goicoetxea *et al.* (1988) sobre el Parque del Buen Retiro, de unas 120 ha, en el que modelaron el descenso del número de visitantes con la distancia a su residencia, muestra que la mayoría de ellos recorre un trayecto inferior a los 2.000 m, y es a partir de 3.000 m cuando la frecuencia se reduce más ostensiblemente, no caminando en ningún caso distancias superiores a los 5,5 km.

A la vista de los estudios consultados y, a falta de datos de frecuentación según distancia al conjunto de parques de Madrid, se ha diseñado aquí un método aproximado, aunque más completo que el anteriormente planteado, para la estimación de la población accesible a zonas tranquilas, en el que se han definido diversos alcances de atracción según el tamaño de las zonas verdes, basado en las evidencias empíricas más fiables encontradas y considerando el contexto particular de la ciudad de Madrid. Así, se han fijado 4 intervalos de superficie, cada uno con diferente potencial de atracción de usuarios: los parques de hasta 5 ha de superficie tendrían un alcance dentro de un área próxima de hasta 500 m, los de 5 a 10 ha hasta 1.000 m (aproximadamente 15 minutos a un paso normal estimado de 4 km/h), los de 10 a 30 ha hasta 1.500 m (23 minutos) y, finalmente los más grandes, de más de 30 ha, hasta 3.000 m (45 minutos).

El procedimiento se completa con una ponderación en la proporción de población potencialmente accesible en cada área próxima, con la intención de reflejar del modo más realista posible la dificultad que supone para la población urbana con capacidades normales recorrer distancias cada vez mayores, según la curva tipo de reducción del n.º de visitantes con el aumento de la distancia a recorrer anteriormente comentada en la figura 8.24.

La tabla 8.5. resume las variables consideradas en el método propuesto.

Tabla 8.5. Resumen de las variables consideradas en el método 2 propuesto para la evaluación de la población potencialmente accesible a zonas verdes tranquilas de modo peatonal, con conducta elástica respecto al tamaño y distancia a ellas.

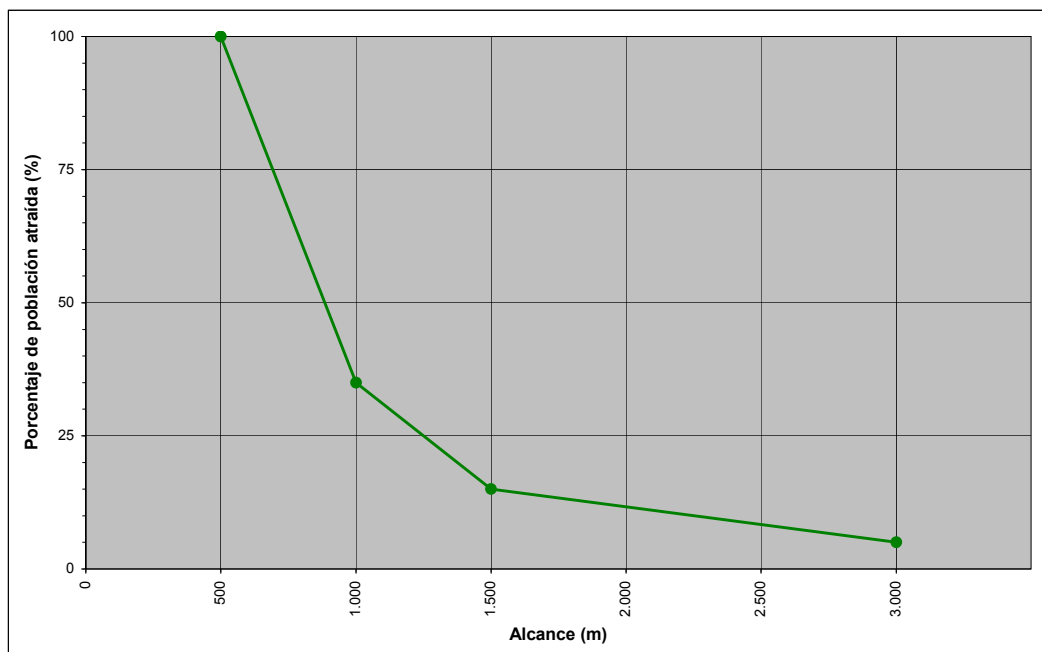
Superficie de la zona verde (ha)	Alcance (m)	Tiempo de acceso estimado (minutos)	Proporción estimada de población accesible (%)
≤ 5	500	7	100
5 - 10	1.000	15	35
10 - 30	1.500	23	15
> 30	3.000	45	5

*Fuente: Elaboración propia.*

El gráfico de la figura 8.25. representa la disminución hipotética de la capacidad de atracción de visitantes por las zonas verdes urbanas según la distancia, que expresa la

última columna de la tabla 8.5. Procede aclarar que los mencionados porcentajes sólo se aplican, para cada parque, a los intervalos de distancia inferiores a su alcance fijado.

Figura 8.25. Disminución hipotética de la capacidad de atracción de visitantes por las zonas verdes urbanas según la distancia.



*Fuente: elaboración propia.*

Conforme a lo anteriormente expuesto, el cálculo matemático de la población próxima o potencialmente accesible al conjunto de las zonas verdes se haría con arreglo a la siguiente expresión:

$$P_{\text{próxima}} = \sum_{i \in E_1} P_i + 0,35 \sum_{i \in E_2} P_i + 0,15 \sum_{i \in E_3} P_i + 0,05 \sum_{i \in E_4} P_i$$

donde:

P = población (n.º de personas).

E<sub>1</sub> = conjunto de edificios distantes como máximo 500 m de un parque.

E<sub>2</sub> = conjunto de edificios a 500-1.000 m del parque más próximo > 5 ha y ∉ E<sub>1</sub>.

E<sub>3</sub> = conjunto de edificios a 1.000-1.500 m del parque más próximo > 10 ha y ∉ E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>.

E<sub>4</sub> = conjunto de edificios a 1.500-3.000 m del parque más próximo > 30 ha y ∉ E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>.

El procedimiento metodológico se fundamenta, análogamente al método 1, en la delimitación de diversas áreas de influencia o *buffers* alrededor de cada zona verde, aunque en este caso atendiendo a los criterios de tamaño y distancia (alcance) recién comentados,



que permitan cuantificar la población potencialmente accesible en cada entorno próximo a partir de los portales incluidos en ellos, para obtener finalmente unos resultados globales.

La ponderación introducida según los diferentes alcances implica que en el caso de los parques más grandes la población más próxima, hasta 500 m, va a ser contabilizada al 100 %, mientras que la menos próxima computará en menor proporción: el 35 % entre 500-1.000 m, el 15 % entre 1.000-1.500 m y el 5 % entre 1.500-3.000 m. En los casos en los que existan solapamientos, es decir, que un portal de edificio esté ubicado a la vez en los alcances de atracción de diferentes zonas verdes próximas, la población residente en él se asignará únicamente a la más cercana, evitando así redundancias en el cómputo total de población, lo que procedimentalmente se traduce en la construcción de coronas mutuamente excluyentes según una prelación establecida, en la que prevalecen las de radio 0-500 m sobre todas las demás, las de 500-1.000 m sobre las de 1.000-1.500 m y 1.500-3.000 m, y las de 1.000-1.500 m sobre las de 1.500-3.000 m.

A esta descripción de los métodos 1 y 2 propuestos hay que añadir que, en virtud de la loable consideración de las zonas verdes como ambientes sosegados para el pleno desarrollo de las funciones reparadoras que les son propias, ambos procedimientos se completarán con un análisis de la población potencialmente beneficiada exclusivamente por las zonas verdes cuyo nivel sonoro es inferior al valor límite establecido por la normativa, es decir, las verdaderamente tranquilas.

#### **8.3.4.4. Análisis estadístico de la información del entorno acústico**

Una vez definidos y determinados los entornos acústicos de las zonas verdes, para su caracterización, así como para el estudio de los patrones de ambiente sonoro intra-parque analizados en los casos de detalle, se han empleado instrumentos estadísticos de centralidad, así como medidas de dispersión para el análisis de su variabilidad interna. Complementariamente se ha obtenido la distribución de frecuencias de los niveles sonoros.

### **8.3.5. RESULTADOS**

#### **8.3.5.1. Caracterización del ambiente acústico de las zonas verdes de Madrid**

Como consecuencia del largo y minucioso proceso de selección y revisión de polígonos de zonas verdes anteriormente descrito, el conjunto resultante que cumple con los criterios establecidos en el apartado 8.3.4.1.1. y que por tanto constituye el objeto de estudio es el que se puede observar en la figura 8.21. Se trata de una amplia selección compuesta por 99 elementos en la cual tiene representación prácticamente toda la tipología de zonas verdes madrileñas, ya sean tanto de barrio, cuyo radio de influencia es local y representan

un punto de referencia para la vida diaria de los vecinos, como parques de distrito o parques urbanos con más entidad a nivel de ciudad, sin pasar por alto los jardines histórico-artísticos.

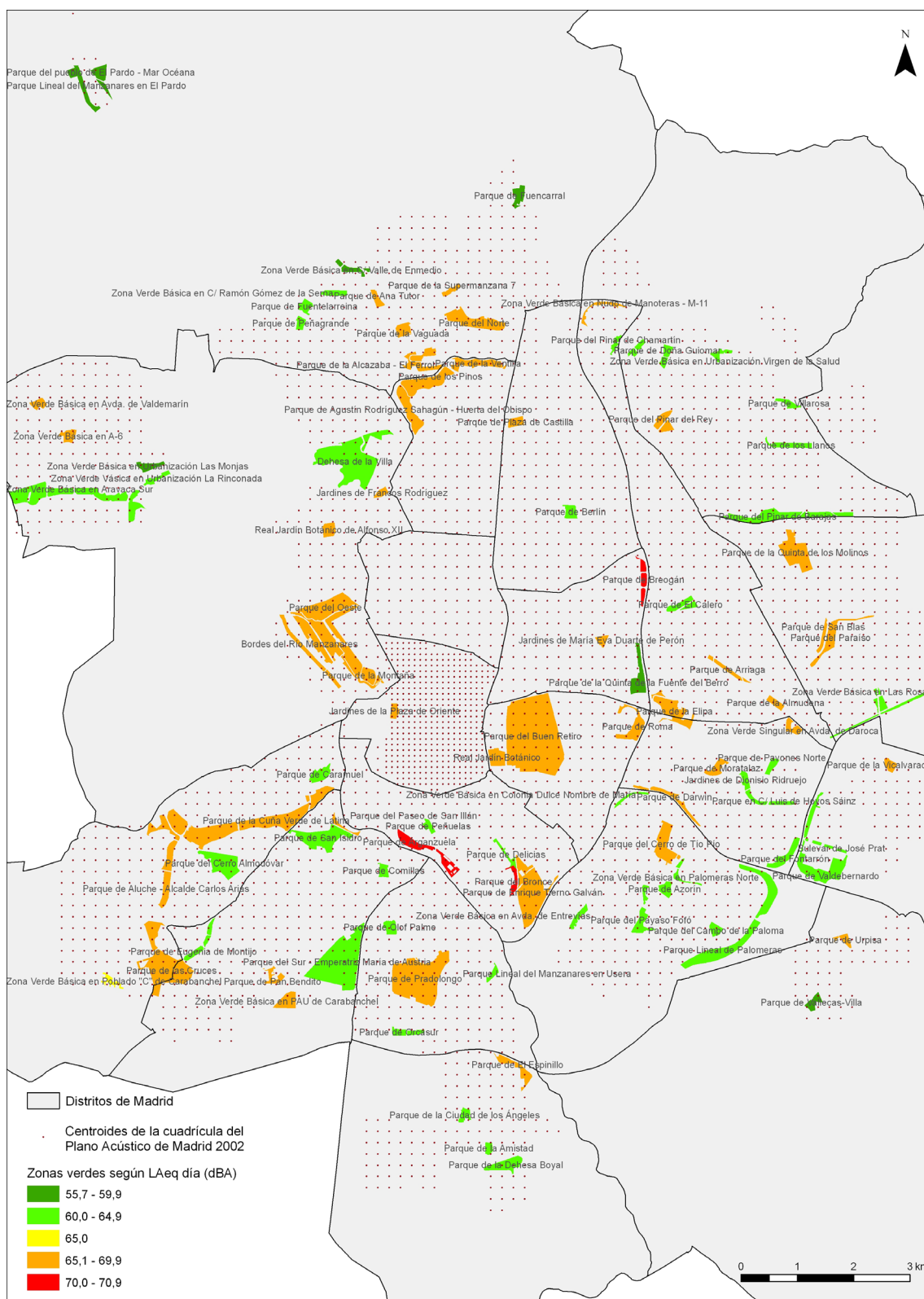
Una vez aplicada la metodología de determinación del ambiente acústico de las zonas verdes consideradas, recordemos, a través del promedio de los valores sonoros de los centroides del Plano Acústico asociados a cada parque (los contenidos en su interior y los de su entorno próximo), calculado durante el proceso de unión espacial de ambas fuentes de información, se procede a su caracterización, referida al periodo diurno (de 7 a 23 h) como ya se ha comentado, con la ayuda de estadísticos descriptivos que ayudan a hacer aflorar las variaciones espaciales existentes entre dichos ámbitos.

El **análisis estadístico** de los resultados muestra que la mediana de éstos, como valor que divide el conjunto en dos mitades iguales, es 64,8 dBA. El 1.<sup>er</sup> cuartil asciende a 62,8 dBA, indicando que el 75 % de las zonas verdes presenta un nivel sonoro superior a dicho valor; y el 3.<sup>er</sup> cuartil revela que en una cuarta parte de éstas supera incluso los 66,8 dBA. Los datos sonoros dejan ver que la amplitud total para este periodo diurno es de 15,2 dBA, siendo el valor mínimo de 55,7 dBA y el máximo de 70,9 dBA, y la variabilidad (amplitud semi-intercuartil) es de 2 dBA.

Como expresión cartográfica del resultado se presenta la figura 8.26., en la que los parques se simbolizan empleando una escala cromática acorde al nivel sonoro diurno registrado en ellos (en dBA), desde el verde (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (niveles más altos). El color amarillo muestra el valor crítico (65 dBA) considerado por la normativa para dicho periodo temporal diurno.

Las zonas verdes de Madrid en las que se perciben unos **niveles sonoros más bajos**, inferiores a 60 dBA, son el Parque Lineal del Manzanares en El Pardo (55,7 dBA), el Parque de la Quinta de la Fuente del Berro (55,8 dBA), la Zona Verde Básica de la Calle Valle de Enmedio (56,2 dBA), el Parque del pueblo de El Pardo-Mar Océana (56,4 dBA), la Zona Verde Básica en Urbanización Las Monjas (58,8 dBA), el Parque de Fuencarral (59,3 dBA) y el Parque de Vallecas-Villa (59,5 dBA). Todas ellas se encuentran bastante alejadas del centro urbano, en zonas periféricas del noroeste, a excepción del Parque de Vallecas-Villa, al sudeste, y del Parque de la Quinta de la Fuente del Berro, en el borde interior este de la “almendra central”. Éste último se trata de un caso atípico pues, a pesar de localizarse dentro de la ciudad y próximo a una gran vía de comunicación como es la M-30, las barreras acústicas instaladas en parte de su perímetro se revelan como bastante eficaces, haciendo descender los niveles sonoros medidos en su interior.

Figura 8.26. Zonas verdes de Madrid según su nivel sonoro diurno. Se muestran también los centroides de la cuadrícula del Plano Acústico de Madrid de 2002.



Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Los **niveles sonoros más elevados** registrados superan ligeramente los 70 dBA, correspondiendo al Parque de Breogán (70,9 dBA), el Parque del Bronce (70,7 dBA) y el Parque de Arganzuela (70,0 dBA)<sup>69</sup>. Se trata de parques contenidos en el límite interior de la “almendra central” de Madrid y en las proximidades de grandes vías de comunicación.

Hay que observar que la **distribución espacial** de las zonas verdes en el municipio de Madrid es desigual, favoreciendo a los distritos periféricos en detrimento de los del interior. Mientras que hacia el centro predominan las de reducido tamaño, ya sean de barrio o pequeños parques y jardines históricos, en las zonas de ensanche (algunas ya totalmente absorbidas por el crecimiento urbano) y nuevos desarrollos urbanísticos periféricos son generalmente más recientes, de mayor superficie y están dotadas de mayor número de servicios. La densa aglomeración urbana de la zona interior y las constantes remodelaciones urbanísticas que caracterizan la transformación del centro apenas dejan sitio para extensiones verdes de una cierta entidad, exceptuando el singular enclave del Parque del Buen Retiro, verdadero pulmón en una ciudad en la que el precio del m<sup>2</sup> de suelo es muy elevado. Las zonas verdes histórico-artísticas han logrado mantenerse gracias a su catalogación de protección. Hacia el exterior la ciudad persiste en su crecimiento, pero el planeamiento ha permitido “partir de cero” sobre el terreno e ir equipándolo con unas dotaciones más equilibradas para los futuros vecinos, que crecerán a la vez que los árboles de sus parques. En estas zonas aún es posible cumplir con las ratios de superficie de zona verde por habitante recomendadas en los estándares de urbanismo (Brau *et al.*, 1980). Bajo estas razones urbanísticas parece que las socio-económicas apenas se dejan sentir, si bien los sectores de mayor nivel de renta suelen albergar las zonas verdes protegidas por su alto valor histórico y botánico, pocas, pero en las que la estética y el disfrute potencial puede ser bastante diferente al de un parque de ensanche o de borde en torno a grandes vías de comunicación.

El análisis de la localización de los parques y zonas verdes de Madrid permite plantear la hipotética relación de sus atributos sonoros con el carácter de **centralidad o perifericidad** de dichos equipamientos. Para ello, se ha considerado la distancia del parque (representado por su centroide) respecto a la Puerta del Sol que, aunque hace tiempo que dejó de ser el centro geométrico de la urbe, constituye su mejor punto de referencia, por una parte como foco de la actividad desarrollada en el interior de la ciudad, concurrido, conocido e integrado en los mapas cognitivos de Madrid de todos los ciudadanos y turistas y, por otra, por representar el origen del kilometraje de las principales carreteras radiales españolas. A partir de este enclave, para valorar la proximidad o lejanía de las zonas verdes respecto al centro se han trazado 4 coronas concéntricas de radios máximos 2.500 m, 5.000 m, 7.500 m y 10.000 m, es decir, separadas entre sí 2.500 m, asumiendo que ésta es la máxima distancia que se puede recorrer andando a paso normal en algo menos de media hora para

---

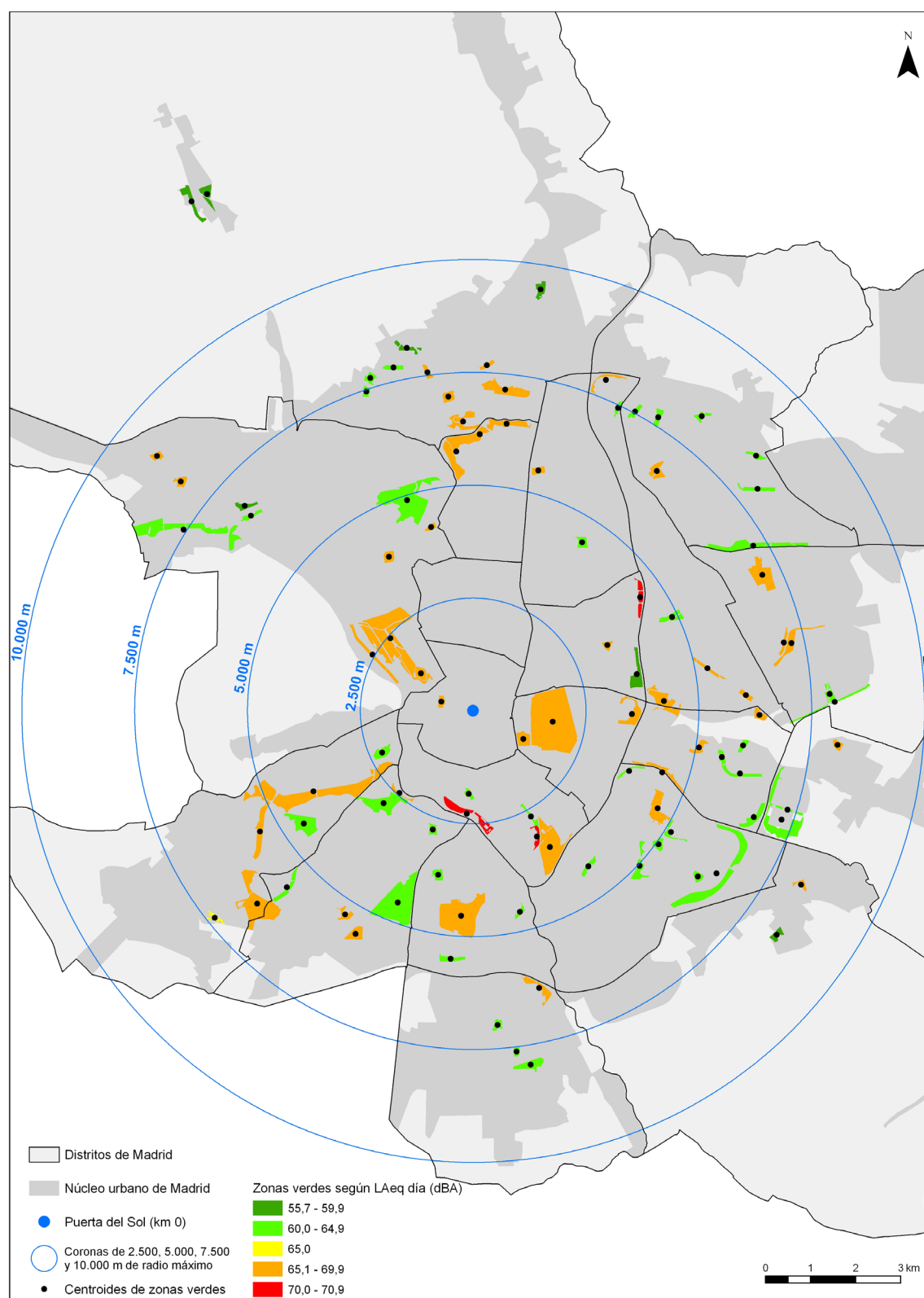
<sup>69</sup> El Parque de Arganzuela, tras las obras de soterramiento de la vecina vía M-30, presumiblemente habrá visto reducidos sus niveles sonoros.

aproximarse hasta un parque (García Álvarez, 1981). Obsérvese que en ciertos casos concretos el centroide de alguna zona verde, como centro de gravedad, queda ubicado fuera de sus límites según sea la forma geométrica del propio parque o si éste está compuesto por un polígono “multiparte”.

Como primer paso para este análisis se ha elaborado la figura 8.27., en la que se muestran los parques según su ambiente sonoro, con sus centroides superpuestos, que quedan contenidos en unas u otras coronas concéntricas trazadas con origen en la Puerta del Sol. A simple vista puede observarse que la mayoría de las zonas verdes incluidas en la primera corona (de 0 a 2.500 m), la más interior, presentan unos niveles sonoros altos o muy altos. Las dos siguientes (de 2.500 a 5.000 m y de 5.000 a 7.500 m) contienen de forma más o menos equilibrada zonas verdes con niveles sonoros medios y altos, mientras que en la corona exterior (de 7.500 a 10.000 m) el predominio es de parques más sosegados, hecho que se acentúa en los situados a más de 10.000 m. Además, se muestra de fondo el núcleo urbano de Madrid, para apreciar en qué medida las zonas verdes quedan ubicadas dentro del área urbanizada. Por tanto, la tendencia parece apuntar a que los niveles sonoros son mayores en el interior de la “almendra central” y se reducen hacia el exterior, en las zonas verdes periféricas.

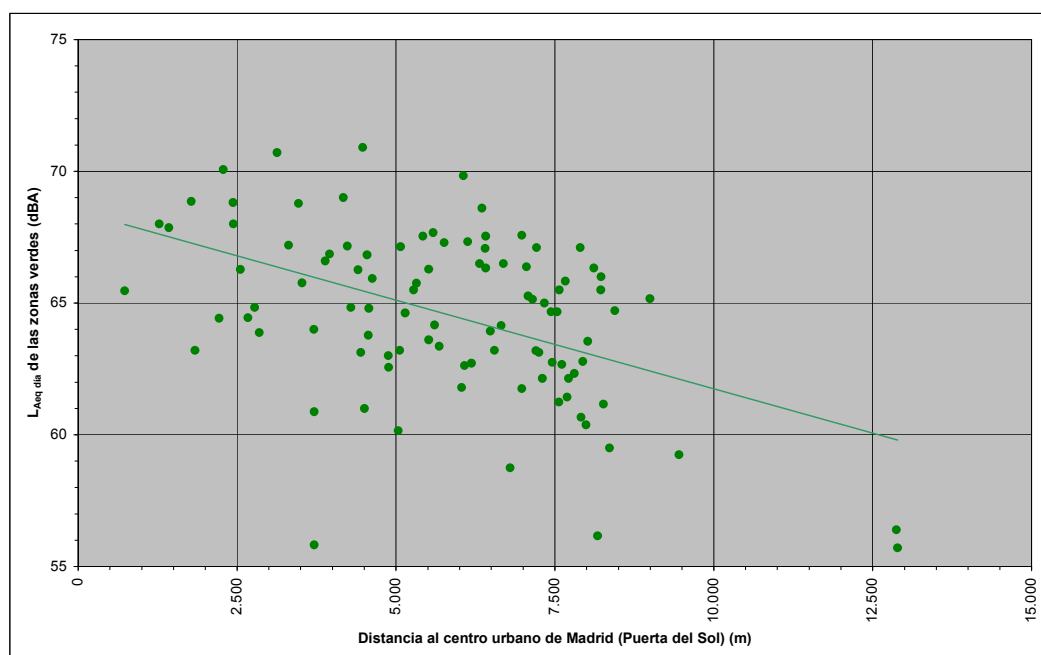
La figura 8.28. confirma estas apreciaciones iniciales. Se trata de un diagrama de dispersión de puntos en el que se puede ver la distribución de zonas verdes según su distancia al centro de la ciudad (variable independiente) y su nivel sonoro. Por coronas, puede comprobarse que el ambiente acústico de los parques que se encuentran a menos de 2.500 m del centro tiende a superar los 65 dBA, mientras que los ubicados entre 2.500 y 7.500 m presentan un reparto mayoritario entre 60-65 dBA y 65-70 dBA. En la corona de 7.500 a 10.000 m el predominio es de niveles sonoros más bajos, aunque sigue habiendo algunos por encima de 65 dBA. La recta de correlación es de pendiente negativa, y el cálculo del coeficiente de correlación para la distribución arroja un valor de  $r = -0,48$ , que pone de manifiesto una marcada dispersión dentro de la tendencia que existe. Por último, hay que mencionar ciertos casos alejados con niveles anormalmente bajos para la tendencia general de la serie de datos, destacando en este sentido el Parque de la Quinta de la Fuente del Berro (ubicado a 3.715 m del centro, con sus ya comentados apantallamientos acústicos), la Zona Verde Básica de la Calle Valle de Enmedio (a 8.171 m, en una zona residencial de chalets adosados con poco tráfico), el Parque Lineal del Manzanares en El Pardo y el Parque del pueblo de El Pardo-Mar Océana (situados a 12.890 y 12.873 m del centro, respectivamente, ya fuera de las 4 coronas consideradas y enclavadas en una pequeña y tranquila zona urbana en pleno Monte de El Pardo, próximos al Palacio Real de El Pardo). En resumen y, observando la línea de tendencia, se puede constatar que los niveles sonoros que definen el ambiente acústico de las zonas verdes madrileñas descienden conforme nos alejamos del centro urbano, aunque haya una notable dispersión en la nube de puntos.

Figura 8.27. Análisis de la centralidad y perifericidad de las zonas verdes de Madrid según su nivel sonoro diurno.



Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Figura 8.28. Distribución espacial de las zonas verdes de Madrid según su distancia al centro de la ciudad y su nivel sonoro diurno.



*Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

La tabla 8.6. contabiliza las zonas verdes contenidas en cada corona y las relaciona con sus niveles sonoros característicos. En definitiva, se corrobora la tendencia que se apuntaba anteriormente: se puede comprobar cómo los parques cuyo ambiente acústico es más ruidoso tienden a ubicarse hacia el interior, siendo la mencionada “almendra central” la zona acústicamente más conflictiva de Madrid, dentro de la cual las zonas verdes viven las situaciones sonoras más desfavorables en su entorno, mientras que hacia la periferia madrileña disminuyen los niveles sonoros registrados y predominan áreas verdes más sosegadas. Por lo que respecta a los distritos periféricos (Moncloa-Aravaca, Fuencarral-El Pardo, Hortaleza, San Blas, Moratalaz, Vicálvaro, Puente de Vallecas, Villa de Vallecas, Usera, Villaverde, Latina y Carabanchel) hay que precisar que, pese a los diferentes niveles de renta existentes entre los del norte-noroeste y el resto, no se aprecia una diferencia observable entre las situaciones acústicas de sus zonas verdes, especialmente bajas o medias en casi todos los casos.

Finalmente, este estudio se completa con el examen del **cumplimiento de la normativa** municipal vigente en la fecha. Hay que tener en cuenta que ésta fija un límite en suelo urbano de  $L_{Aeq\ día} = 65\text{ dBA}^{70}$  que no debe superarse para las “áreas acústicas de Tipo

<sup>70</sup> Marca de clase destacada en la **figura 8.7**. Este límite sonoro máximo de 65 dBA establecido por la Ordenanza del Ayto. de Madrid es coincidente con el recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

II (Áreas levemente ruidosas)” destinadas a uso dotacional de zonas verdes, según la Ordenanza municipal de Madrid. Del conjunto de 99 zonas verdes estudiadas, el indicador medio de los  $L_{Aeq}$  día arroja que 51 se encuentran por debajo de dicho nivel sonoro (en colores verde oscuro y verde claro en la figura 8.26.) y 1 coincide con el mismo (en color amarillo), por lo que se puede afirmar que un 53 % de las zonas verdes madrileñas cumplían, en promedio, con los límites sonoros aceptables marcados por la Ordenanza. Además, algunas de éstas disfrutaban de unos niveles bastante reducidos, en torno a los 55-60 dBA (7 dotaciones). Sin embargo, el 47 % restante lo supera, es decir, alcanza unos niveles inaceptables (en colores naranja y rojo en la figura 8.26.): 44 rebasan el límite en 5 dBA y 3 están por encima incluso de los 70 dBA, es decir, superan el límite legal en 15 dBA. Espacialmente, las zonas verdes en las que el grado de incumplimiento de los límites normativos es mayor se sitúan en la parte sur de la “almendra central” de Madrid.

Tabla 8.6. Análisis de la centralidad y perifericidad de las zonas verdes de Madrid según su nivel sonoro diurno.

		$L_{Aeq}$ día				N. º total de zonas verdes
		Bajo ( < 60 dBA)	Medio (60- 65 dBA)	Alto (65- 70 dBA)	Muy alto (> 70 dBA)	
Distancia al centro (coronas)	Cercana (0 - 2.500 m)	0	2	6	1	9
	Media (2.500 - 5.000 m)	1	12	11	2	26
	Lejana (5.000 - 7.500 m)	1	18	21	0	40
	Muy lejana (7.500 - 10.000 m)	3	12	7	0	22
	Extremadamente lejana (más de 10.000 m)	2	0	0	0	2
N.º total de zonas verdes		7	44	45	3	99

Fuente: Elaboración propia con datos del PGOUM y del Plano Acústico de Madrid de 2002.

En síntesis, y con las cautelas inherentes a la metodología empleada, a la vista de estos resultados el panorama sonoro de las zonas verdes madrileñas parece bastante insatisfactorio en la fecha de referencia, en la medida en que casi la mitad de ellas incumple la normativa municipal, revelándose necesario contemplar acciones urgentes como medidas correctoras y precisándose la elaboración de planes de acción para paliar tal situación en las



zonas excesivamente ruidosas, para un mejor y adecuado disfrute por parte de los ciudadanos.

#### 8.3.5.2. Caracterización del ambiente sonoro interno en parques: análisis de casos

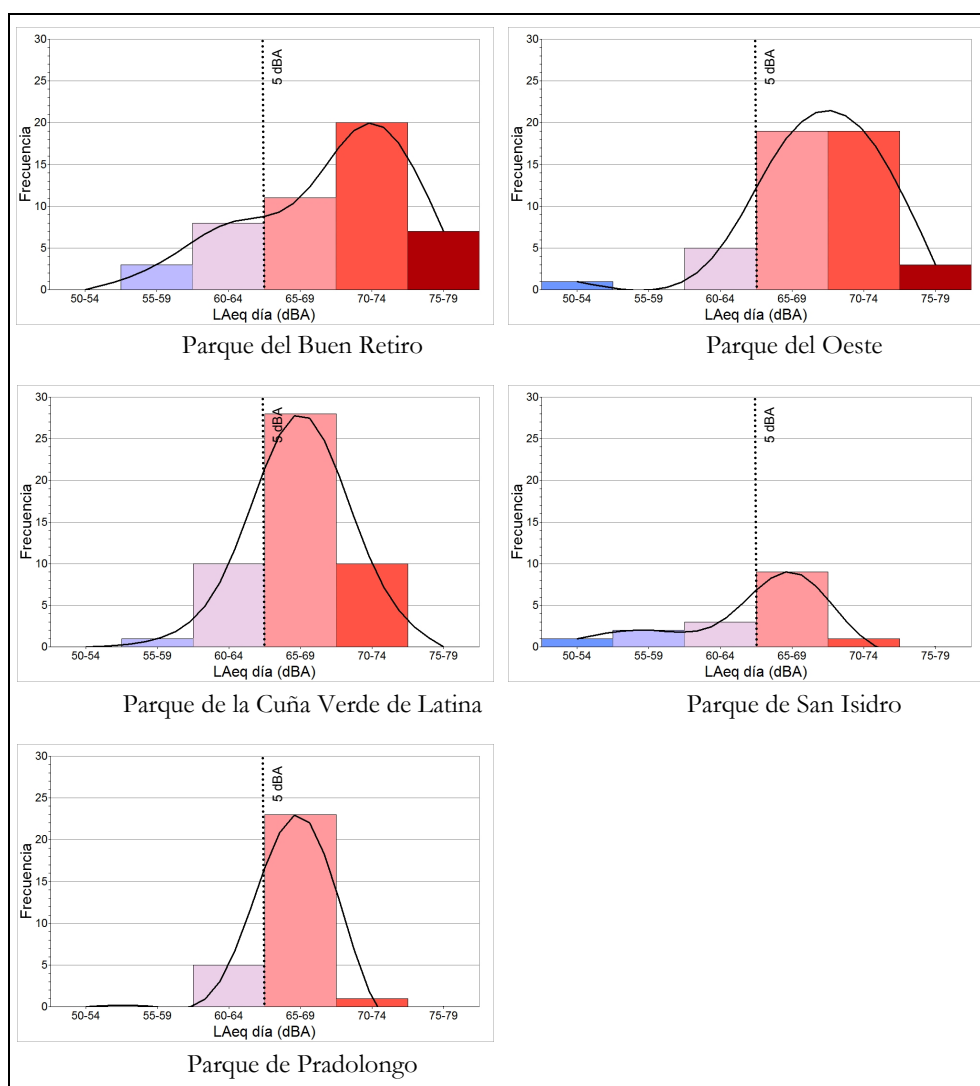
Profundizando y completando los análisis anteriores, esta siguiente parte del estudio aborda el examen de detalle del ambiente sonoro interno de algunos parques representativos de la ciudad, llevándonos a explorar el patrón y la variabilidad intra-parque del  $L_{Aeq \text{ día}}$ . Como ya se justificó en el apartado 8.3.4.1.1., la muestra de 5 parques seleccionados fueron: Parque del Buen Retiro, Parque del Oeste, Parque de la Cuña Verde de Latina, Parque de Pradolongo y Parque de San Isidro. Antes del examen detallado de cada uno de los 5 parques, procede ofrecer una primera impresión comparativa de sus niveles sonoros y estadísticos.

La figura 8.29. muestra las distribuciones de frecuencias de intensidad sonora diurna,  $L_{Aeq \text{ día}}$ . En ella, a través de los histogramas se puede apreciar cómo en todos los parques la mayoría de puntos muestrales presentan valores por encima del nivel sonoro máximo permitido de 65 dBA establecido para las zonas verdes durante el periodo diurno en la Ordenanza del Ayto. de Madrid, atenuándose esta tendencia en el caso del Parque de San Isidro, que presenta un ambiente acústico algo más equilibrado en cuanto a cumplimiento. Los histogramas revelan por tanto una situación de moderada a importante superación del límite deseable, siendo el intervalo de 65-69 dBA, en casi todos los casos, el que mayor número de puntos muestrales contiene.

La tabla 8.7. completa este resumen de los hallazgos estadísticos obtenidos, para cada uno de tales parques. En ella se constata que los estadísticos de centralidad superan, prácticamente en todos los casos, los niveles máximos permitidos de 65 dBA, si bien el Parque de San Isidro se sitúa en el límite. Los valores más altos de ruido exceden siempre este umbral crítico, mientras que los mínimos quedan casi todos por debajo, lo que indica contrastes acústicos notorios en el interior de los parques. La importancia de esas diferencias internas se puede apreciar en las dos columnas de la derecha, predominando variaciones altas y medias y solo en un caso (Pradolongo) algo más débiles.

Para visualizar y valorar el patrón del  $L_{Aeq \text{ día}}$  en cada parque se ha realizado una doble cartografía: en primer lugar de situación, a partir de la *imagen de satélite IKONOS de Madrid de 2006* proporcionada por la Dirección General de Desarrollo y Tecnologías de la Información del Ayto. de Madrid, y en segundo lugar acústica, con la delimitación espacial a partir de la capa de zonas verdes y mostrando la cuadrícula del Plano Acústico de Madrid, los centroides de cuadrados contenidos dentro de su entorno próximo y las calles próximas simbolizadas según los aforos de *intensidad media diaria (IMD) del tráfico rodado de 2002*, publicados por el Ayto. de Madrid.

Figura 8.29. Distribuciones de frecuencias de la intensidad sonora diurna de 5 parques urbanos de Madrid.



Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Nota: la línea vertical negra discontinua indica el valor límite del  $L_{Aeq\ día}$  establecido por la normativa.

Tabla 8.7. Caracterización estadística del ambiente sonoro de 5 parques urbanos de Madrid.

Nombre del parque	Localización (y distrito)	Superficie (ha)	N.º centroides	Media $L_{Aeq\ día}$ (dBA)	Mediana $L_{Aeq\ día}$ (dBA)	Máximo $L_{Aeq\ día}$ (dBA)	Mínimo $L_{Aeq\ día}$ (dBA)	Amplitud total $L_{Aeq\ día}$ (dBA)	Desviación típica $L_{Aeq\ día}$ (dBA)
Parque del Buen Retiro	Centro (Retiro)	118,18	49	68,9	70	77	56	21	5,01
Parque del Oeste	Centro-O (Moncloa-Aravaca)	75,60	47	68,8	69	77	54	23	4,26
Parque de la Cuña Verde de Latina	SO (Latina)	72,91	49	66,9	67	73	58	15	3,12
Parque de Pradolongo	S (Usera)	60,53	29	66,8	67	71	62	9	2,09
Parque de San Isidro	Centro-SO (Carabanchel)	23,93	16	63,9	65,5	70	54	16	4,87

Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Nota: los valores máximos están representados en rojo y los mínimos en azul.

En resumen, el panorama inicial no resulta muy halagüeño, si bien parece que puede haber zonas intra-parque más sosegadas. Se examinará ahora cada uno de los parques en particular.

#### a) Parque del Buen Retiro

Se trata de la zona verde histórico-artística más emblemática de la ciudad de Madrid, cuya superficie se ha mantenido protegida al margen de desarrollos urbanísticos que la afectaran, constituyendo hoy en día un singular enclave verde de gran entidad en pleno centro de la ciudad (*vid.* figura 8.30.), muy valorado tanto por los madrileños como por los foráneos y de visita obligada para todos los turistas. Se localiza en la zona centro-oeste del distrito de Retiro y ocupa una extensión de 118 ha, presentando una forma aproximadamente rectangular y sin apenas desniveles. En su interior alberga diferentes edificaciones histórico-culturales (como el Palacio de Cristal, Palacio de Velázquez...), monumentos (estatua de Alfonso XII, del Ángel Caído...), fuentes, estanques, jardines, etc. y una gran cantidad de especies arbóreas y arbustivas de excepcional interés botánico. Es muy frecuentado a diario ya sea para disfrutar de numerosas actividades culturales, recreativas, deportivas o simplemente de paseo o reunión, siendo posible perder de vista las fachadas de los edificios circundantes.

La extensión de su entorno sonoro da cabida a 49 centroides del Plano Acústico de Madrid, resultando un valor medio de  $L_{Aeq\text{ día}}$  de 68,9 dBA para el conjunto del parque, ciertamente elevado y que además supera el límite de 65 dBA establecido en la Ordenanza del Ayto. de Madrid. La mediana despunta igualmente, cuyo valor de 70 dBA corrobora aún con más énfasis la afirmación anterior. Del conjunto de los 49 datos muestrales contenidos en su entorno, 38 (77,6 %) exceden el límite aceptable normativamente de 65 dBA. La distribución de frecuencias de los puntos muestrales de la intensidad sonora diurna registrada en el parque (figura 8.29.) indica, en línea con lo anteriormente comentado, que la mayoría de éstos superan el valor límite de 65 dBA, destacando especialmente el intervalo de 70-74 dBA, que corresponde a niveles sonoros bastante elevados. También, el intervalo de 75-79 dBA contiene un número de casos significativo, ello alerta de situaciones especialmente ruidosas. En contraste, se dan otras algo más sosegadas correspondientes a puntos muestrales de 60-64 dBA, próximos al límite recomendado pero sin llegar a superarlo. Sin embargo, es necesario examinar la variabilidad sonora interior para averiguar, en primer lugar, si este nivel se mantiene así de elevado por toda la superficie del parque y, a continuación, intentar explicar las posibles causas.

El nivel sonoro máximo registrado llega a ser muy alto, de 77 dBA, mientras que el mínimo, de 56 dBA, es suficientemente moderado para el periodo diurno considerado, lo que indica que su interior alberga rincones tranquilos. La amplitud sonora total es de 21 dBA, bastante grande, marcando destacables diferencias entre unas zonas y otras del interior del parque.

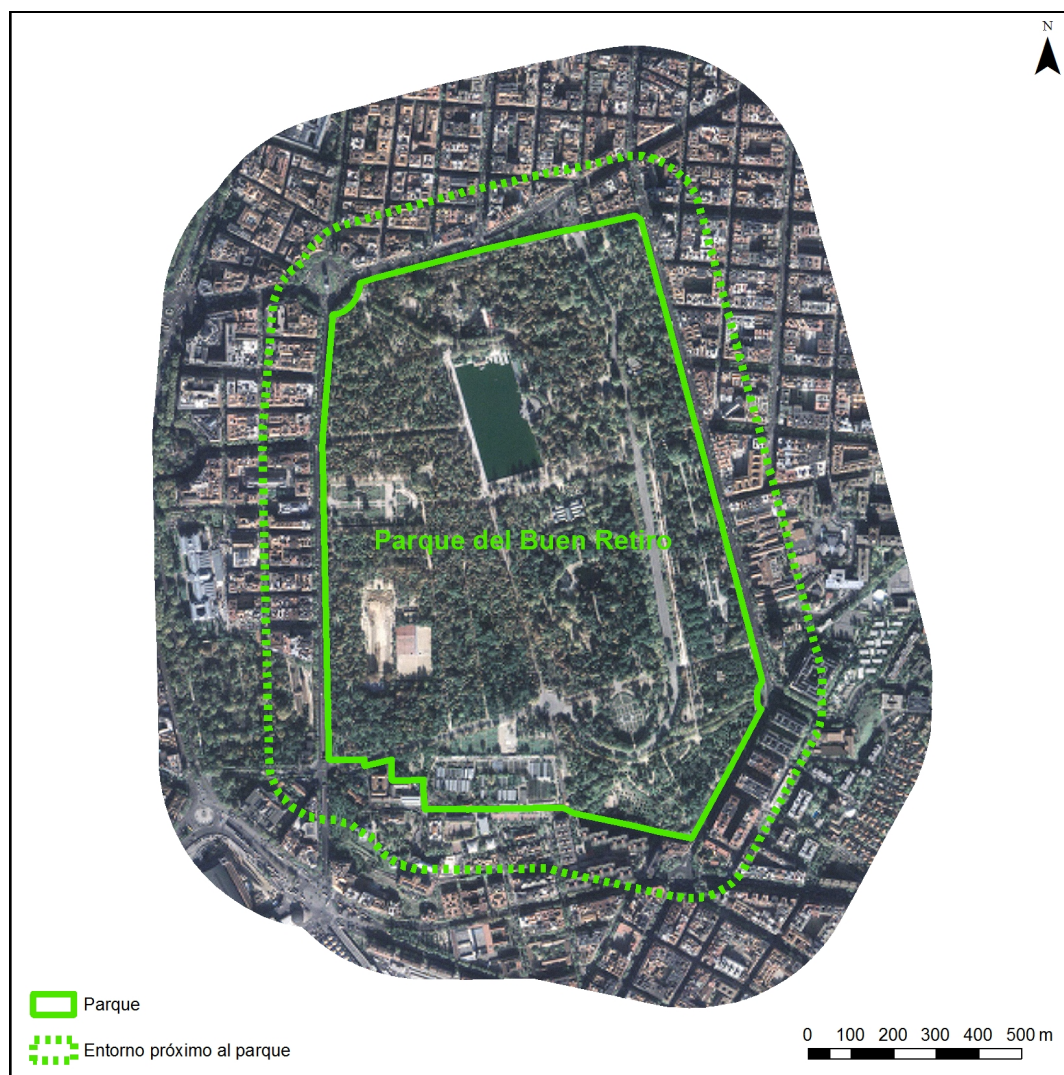
A la luz de estos datos parece que, a pesar del elevado nivel sonoro medio del parque, existe un patrón espacial con grandes contrastes acústicos registrados entre unas zonas y otras de su interior. Este hecho se constata, además, por el elevado valor de la desviación típica, de 5,0 dBA, y cartográficamente es posible apreciarlo en la figura 8.31., en la que se puede observar una marcada gradación (según la flecha mostrada) de los niveles sonoros a la vista de las variaciones de color de los cuadrados del Plano Acústico, desde el sudoeste, donde se localizan las zonas más sosegadas (azules), hacia el nordeste y este, en donde se registran los valores sonoros más elevados (rojos).

En la figura 8.30. se puede observar el denso entorno urbano en el que se enclava el parque, mayoritariamente residencial de varias alturas. Hay que mencionar, al este, la presencia del Hospital Infantil Universitario Niño Jesús, y al oeste el Real Jardín Botánico, así como ciertas instalaciones administrativas próximas dispersas. Las fuentes de ruido que contaminan su interior son previsiblemente las grandes y transitadas vías que lo delimitan, con varios carriles de tráfico rodado en ambos sentidos. Para explorar esa hipótesis, en la figura 8.31. se han representado las vías aforadas en las que el Ayto. de Madrid ha obtenido datos de intensidad media diaria (IMD) del tráfico, pudiendo observarse cómo los valores sonoros más elevados dentro del parque se corresponden con el entorno de las vías por las que circula un mayor número de vehículos al día. Al norte, la Plaza de la Independencia y la

unión de las Calles de Alcalá y de O'Donnell y, al este, la Avenida de Menéndez Pelayo, determinan unos valores sonoros muy elevados en toda la zona norte y nordeste del parque. Al oeste, la Calle de Alfonso XII marca un eje ruidoso que lo delimita externamente. En contraposición, las zonas más tranquilas se localizan al sudoeste, en las proximidades del Observatorio Astronómico de Madrid, y al sur, en la zona de viveros, coincidiendo con un desnivel topográfico descendente hacia el sur, que estaría operando como barrera acústica. Fuera de los límites del parque los niveles sonoros aumentan hacia el sudoeste (en contacto con el Paseo de la Infanta Isabel), hacia el sudeste (Paseo de la Reina Cristina y Avenida del Mediterráneo), hacia el nordeste (Calles de O'Donnell y de Alcalá) y hacia el norte (Calles del Príncipe de Vergara, de Velázquez y de Serrano), todos ellos destacados ejes viarios.

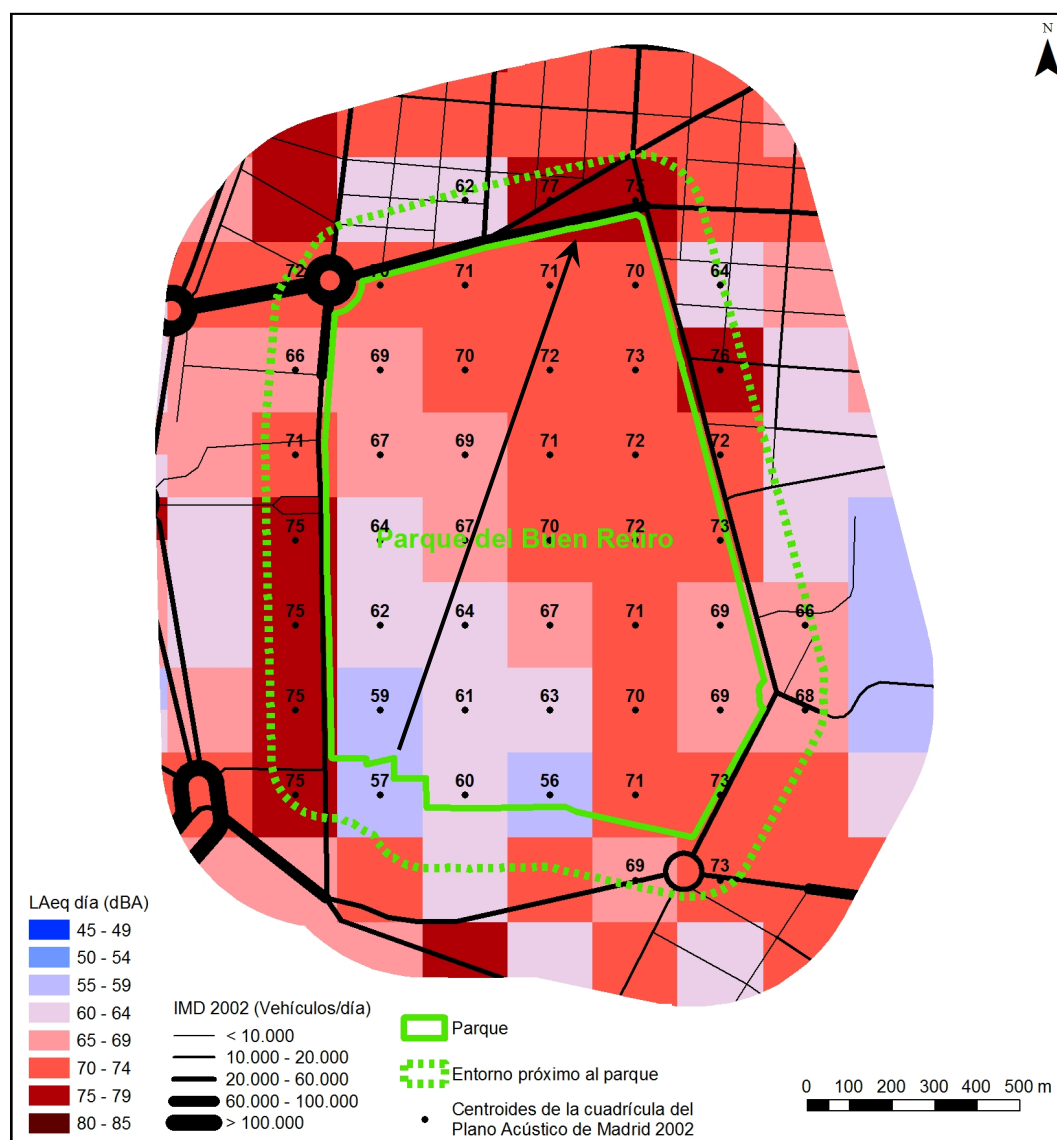
En conclusión, el Parque del Buen Retiro se mantiene como una zona verde con especial identidad por su ubicación y singulares características, mezcla de caracteres botánicos, monumentales, culturales, históricos y deportivos, en la que, a pesar de la influencia de las grandes vías que la rodean y de la heterogeneidad de su ambiente sonoro, a la que también contribuyen las propias actividades que se realizan en su interior, es posible encontrar numerosos rincones tranquilos y acústicamente confortables donde descansar sin el ruido de la ciudad.

Figura 8.30. Parque del Buen Retiro y su entorno.



*Fuente: elaboración propia a partir de la imagen de satélite IKONOS de 2006.*

Figura 8.31. Ambiente sonoro del Parque del Buen Retiro.



Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Nota: la flecha marca la tendencia espacial de aumento en los niveles sonoros.

## **b) Parque del Oeste**

Se localiza al oeste de Madrid, en el distrito de Moncloa-Aravaca, aunque muy próximo al centro urbano (apenas 1,5 km de la Puerta del Sol). Su disposición es alargada y en forma de “L” invertida, presentando fuertes desniveles entre las partes altas y bajas, pues ocupa una inclinada ladera descendente hacia el oeste, por cuya base discurre el Río Manzanares (figura 8.32.).

Con una extensión de 75,60 ha, su entorno sonoro contiene 47 centroides del Plano Acústico de Madrid, cuyo valor medio de  $L_{Aeq\ día}$  es de 68,8 dBA, superando también el límite normativo municipal, al igual que sucedía en el caso del Parque del Buen Retiro. Su mediana, de 69 dBA, es muy parecida a la media aritmética. Del conjunto de los 47 puntos muestrales, 36 (76,6 %) también superan el nivel aceptable de 65 dBA. En el histograma de la figura 8.29. la distribución de frecuencias del  $L_{Aeq\ día}$  revela una situación bastante desfavorable en la que los dos intervalos claramente mayores son los de 65-69 y 70-74 dBA. Van acompañados de algunos casos con niveles todavía aún más elevados (75-79 dBA) y, como contrapunto, un caso en el que la intensidad sonora es baja (50-54 dBA) y que claramente no logra compensar esta ruidosa situación.

Internamente, el comportamiento del nivel sonoro viene marcado por un máximo de 77 dBA, muy alto, y un mínimo bajo, de 54 dBA (ambos valores prácticamente iguales a los del Parque del Buen Retiro), con una amplitud sonora total de 23 dBA, la cual es muy destacable.

Es necesario recurrir a la figura 8.33. para darse cuenta de que la distribución y la elevada variabilidad del  $L_{Aeq\ día}$ , con una desviación típica de 4,3 dBA, viene determinada por la presencia de varias vías de comunicación internas al parque: Paseo de Ruperto Chapí, Paseo de Camoens y Valero, Calle de Francisco y Jacinto Alcántara, Calle de la Rosaleda y vías del tren de Cercanías, en dirección noroeste-sudeste (desde el Puente de los Franceses hasta la Plaza de España), cuya circulación de vehículos se convierte en una fuente sonora que rompe la posible tranquilidad. Hacia el este, los niveles sonoros también aumentan según nos acercamos a las vías que canalizan el tráfico del cuadrículado barrio de Argüelles colindante con el parque (Paseo del Pintor Rosales, Calle de Ferraz y Calle de Irún), mientras que hacia el oeste tienden a disminuir (Río Manzanares).

En resumen, se trata de un parque bastante singular por su forma y ubicación, cuyos niveles y variabilidad acústicos resultan bastante parecidos en conjunto a los del Parque del Buen Retiro, aunque con la peculiaridad de que las vías interiores dificultan especialmente la posibilidad de encontrar lugares sosegados en su seno.

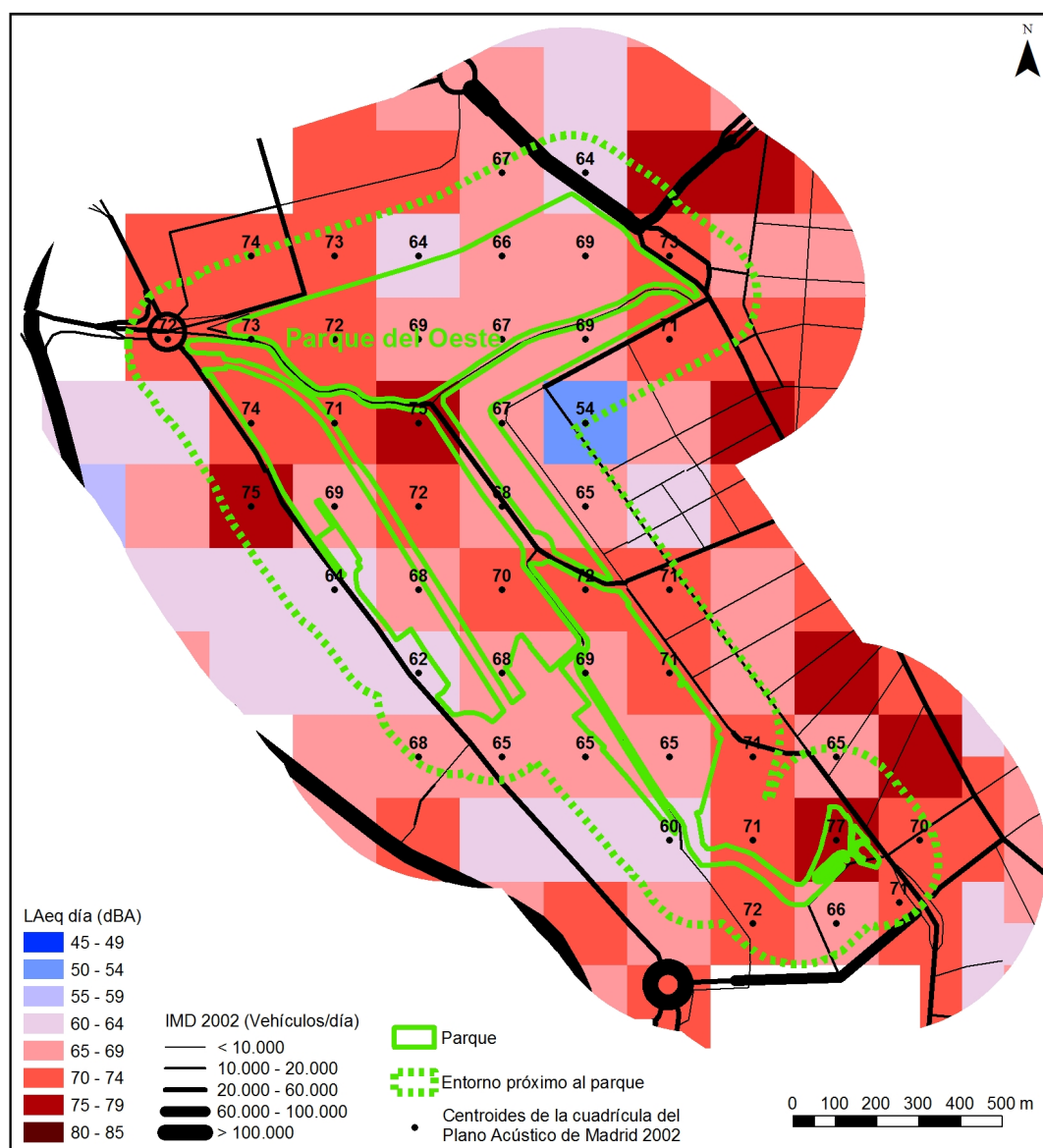


Figura 8.32. Parque del Oeste y su entorno.



*Fuente: elaboración propia a partir de la imagen de satélite IKONOS de 2006.*

Figura 8.33. Ambiente sonoro del Parque del Oeste.



Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Plano Acústico de Madrid de 2002.

### **c) Parque de la Cuña Verde de Latina**

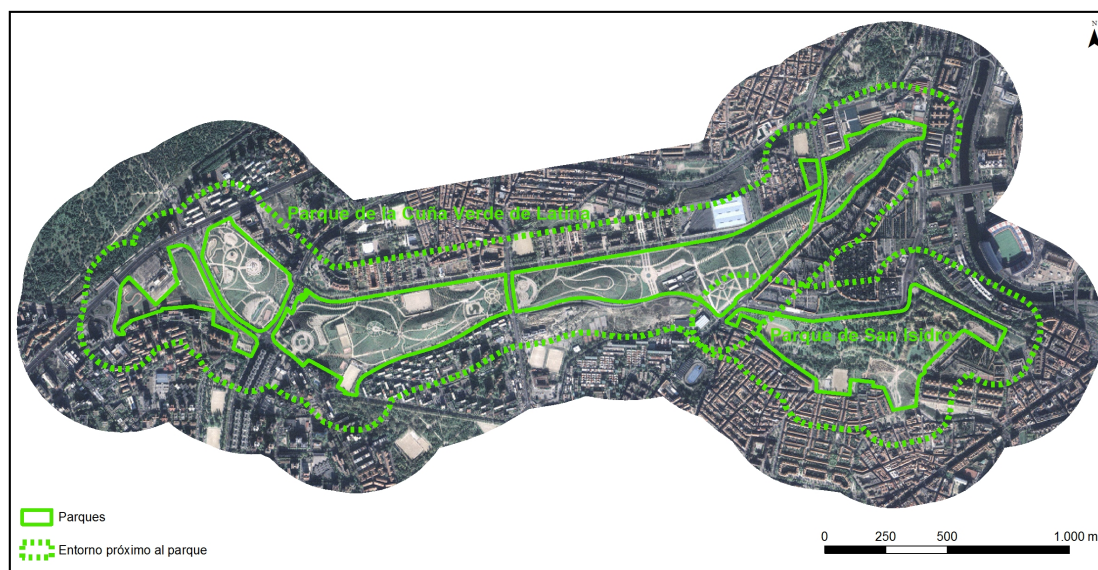
Se ubica al sudoeste de la ciudad, en el distrito de Latina, y muestra una forma muy alargada en sentido este-oeste (figura 8.34.). Presenta una extensión de 72,91 ha y su entorno sonoro contiene 49 centroides del Plano Acústico de Madrid, tantos como el Parque del Buen Retiro, a pesar de que ocupa casi la mitad de superficie. Su valor medio de  $L_{Aeq\text{ día}}$  es de 66,9 dBA, superando también el límite normativo municipal, y su mediana es de 67 dBA. Del conjunto de los 49 puntos muestrales contenidos en su entorno, 34 (69,4 %) exceden el nivel aceptable de 65 dBA.

En su interior, el nivel sonoro máximo registrado es de 73 dBA, bastante alto, y el mínimo moderado, 58 dBA, lo que se traduce en una variabilidad media (amplitud total de 15 dBA y desviación típica de 3,1 dBA). La distribución de los datos sonoros del parque (figura 8.29.) muestra cómo casi todos sus puntos muestrales se reparten en sólo tres intervalos agrupados en torno al límite normativo. Una clara mayoría posee valores sonoros entre 65 y 69 dBA, es decir, superándolo. A partir de ahí, existe un grupo aún más ruidoso (70-74 dBA), pero también otro con niveles aceptables (60-64 dBA), que de algún modo puede significar un cierto efecto compensatorio.

En la figura 8.35. se puede observar cómo los niveles sonoros predominantes son algo elevados, con un patrón espacial bastante uniforme a lo largo de la alargada superficie del parque, y aumentos en los extremos. Aunque se trata de una zona en la que no se dispone de datos de IMD del tráfico, el ruido es probablemente debido a su trazado paralelo a la Calle del Concejal Francisco José Jiménez por el norte, Calle de Cuart de Poblet por el sur y la Vía Carpetana por el este, una situación pues circundada por vías. Los niveles sonoros tienden a incrementarse en la zona oeste debido a la proximidad del enlace entre la Calle de los Yébenes y la de Valmojado, así como por la cercanía al Paseo de Extremadura (A-5). Los cuadrados representados en azul, ya fuera del parque, a la altura de su tramo medio al norte y al sur, corresponden a zonas mayoritariamente residenciales.

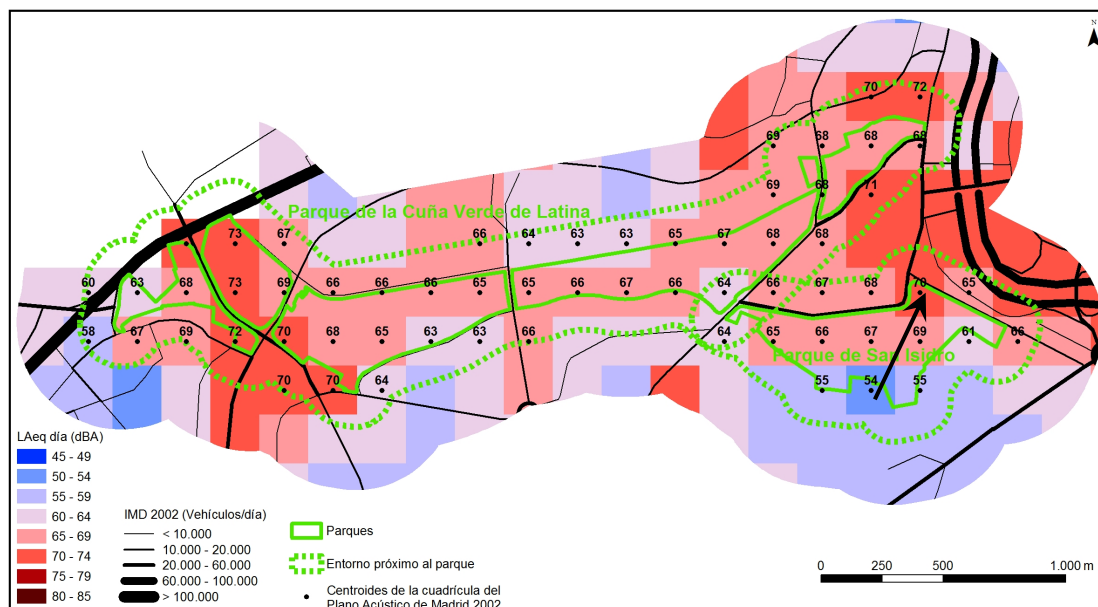
En resumen, se trata de un parque que, por su forma alargada y paralelismo con las vías que lo circundan, no consigue albergar áreas suficientemente tranquilas, presentando unos niveles sonoros relativamente homogéneos y la vez algo altos.

Figura 8.34. Parques de la Cuña Verde de Latina y de San Isidro, y su entorno.



*Fuente: elaboración propia a partir de la imagen de satélite IKONOS de 2006.*

Figura 8.35. Ambiente sonoro de los Parques de la Cuña Verde de Latina y de San Isidro.



*Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Plano Acústico de Madrid de 2002.*

*Nota: la flecha marca la tendencia espacial de aumento en los niveles sonoros.*

#### **d) Parque de Pradolongo**

Se localiza al sur, algo alejado de la “almendra central”, en el corazón del distrito de Usera. Presenta una superficie más o menos rectangular y plana (figura 8.36.). Su extensión es de 60,53 ha, y su entorno sonoro contiene a 29 centroides del Plano Acústico de Madrid, con un valor medio de  $L_{Aeq\ día}$  de 66,8 dBA, superando el límite normativo municipal y muy parecido al valor registrado en la Cuña Verde de Latina. Su mediana es de 67 dBA, igual que en el caso del recién citado parque. Del conjunto de los 29 datos muestrales contenidos en su entorno, 22 (75,9 %) exceden el nivel aceptable de 65 dBA. El panorama acústico mostrado a través de su histograma (figura 8.29.) revela que los valores del  $L_{Aeq\ día}$  se distribuyen en tres grupos, de forma parecida a la anteriormente comentada del Parque de la Cuña Verde de Latina, en cuanto a la clara predominancia de niveles de 65-69 dBA, con la diferencia de que el intervalo más ruidoso es muy reducido y le gana en importancia el de 60-64 dBA, de valores aceptables. Por tanto parece poseer un ambiente acústico bastante homogéneo aunque desfavorable.

El nivel sonoro máximo registrado llega a ser alto, 71 dBA, y el mínimo es moderado, 62 dBA, con una amplitud sonora total bastante pequeña, de 9 dBA. La tendencia que se vislumbra, a la vista de estos datos, es la de un nivel sonoro medio-alto repartido uniformemente por toda la extensión del parque, circunstancia que viene apoyada por el valor relativamente bajo de la desviación típica, de 2,1 dBA (la menor de los casos detallados estudiados).

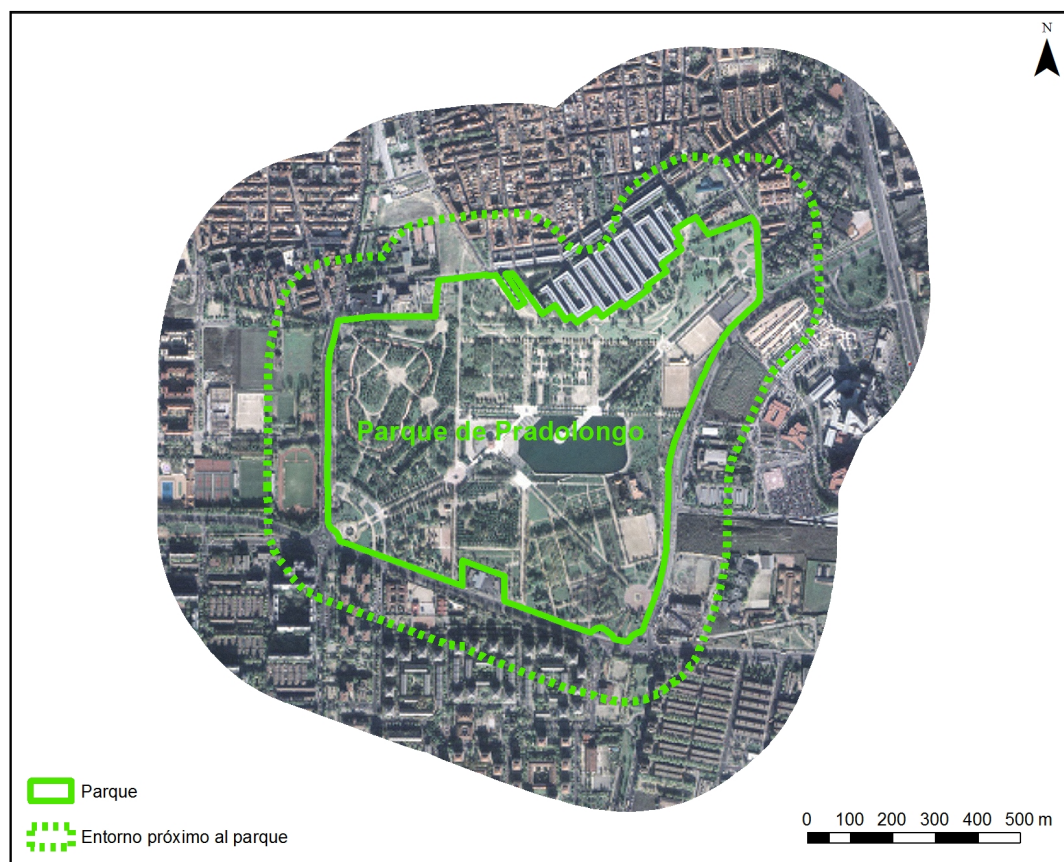
La ausencia de variaciones de color dentro de la superficie del parque, que se puede observar en la figura 8.37., revela las escasas diferencias en los niveles sonoros registrados en el mismo. Fuera de sus límites, hacia el norte (tras la Calle del Cristo de la Victoria) y sur (tras la Avenida de los Poblados) el ruido ambiental tiende a disminuir al tratarse de zonas residenciales, concretamente los barrios de Orcasitas y Orcasur. En cambio, se mantiene hacia las instalaciones deportivas situadas al oeste (tras la Avenida de Rafaela Ibarra) y también hacia el este (tras la Calle del Doctor Tolosa Latour), posiblemente por la realización de las obras de ampliación del complejo hospitalario universitario 12 de Octubre.

Presenta una situación circundada por vías, aún más marcada a como sucedía en el caso de la Cuña Verde de Latina. Los datos de IMD del tráfico muestran un moderado flujo rodado por tales vías (al norte, sur, este y oeste), circunstancia que parece motivar los elevados y homogéneos niveles sonoros que se registran en el interior del mismo, a la vez que por otra parte destacan las tranquilas calles situadas más al norte.

En resumen, se trata de un parque con niveles sonoros medio-altos y muy homogéneos a lo largo y ancho de su superficie

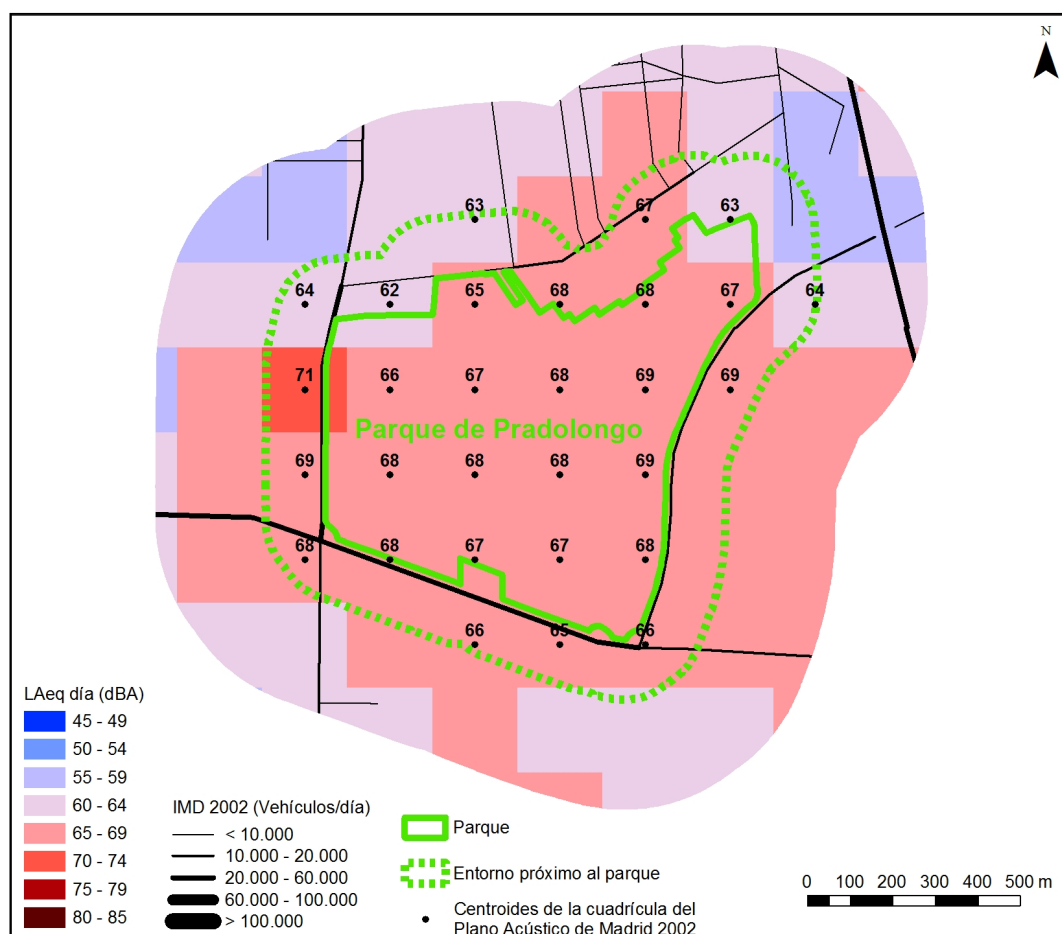


Figura 8.36. Parque de Pradolongo y su entorno.



*Fuente: elaboración propia a partir de la imagen de satélite IKONOS de 2006.*

Figura 8.37. Ambiente sonoro del Parque de Pradolongo.



Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Plano Acústico de Madrid de 2002.

#### **e) Parque de San Isidro**

Se localiza en la zona sudoeste de la ciudad, en el distrito de Carabanchel. Aunque está fuera de la llamada “almendra central” de Madrid, se encuentra relativamente próximo al centro urbano. Presenta una forma un tanto alargada, en dirección este-oeste, y una topografía con superficie aplanada en la parte alta y bajadas en talud hacia las vías circundantes, por lo que queda elevado respecto al entorno en la mayoría de su perímetro (figura 8.34.).

Su extensión es de 23,93 ha, bastante menor que la de los restantes casos analizados, y su entorno sonoro da cabida a 16 centroides del Plano Acústico de Madrid, con un valor medio de  $L_{Aeq\ día}$  de 63,9 dBA, cumpliendo por tanto el límite de 65 dBA establecido en la Ordenanza del Ayto. de Madrid, aunque su mediana lo excede levemente (65,5 dBA), por lo que la mitad de los datos muestrales contenidos en su entorno superan aquél límite. Por su pequeña extensión no contiene tantos puntos muestrales en su interior como otros parques aquí estudiados, aunque sí posee un número suficiente. En el histograma de la figura 8.29. se puede ver cómo, al igual que en el resto de parques analizados, el intervalo con mayor número de puntos muestrales es el de 65-69 dBA, aunque aquí hay más casos con valores sonoros bajos que sí cumplen el límite recomendado y que le confieren, por tanto, un ambiente más sosegado.

En su interior, el nivel sonoro máximo registrado llega a ser algo alto, 70 dBA, y el mínimo es 54 dBA, el más bajo de los 5 parques estudiados. La amplitud sonora total es de 16 dBA, media en comparación con el resto de casos, y muy similar a la de la Cuña Verde de Latina, aunque ocupa prácticamente 1/3 de la superficie de esta última. Ello, junto a su importante desviación típica, de 4,9 dBA, anticipa una notable variabilidad interior.

La figura 8.35. muestra las diferencias en los niveles registrados, pudiéndose apreciar una tendencia espacial clara con una progresión (obsérvese la flecha en la figura) desde las zonas más tranquilas del sur, hacia el norte, donde se alcanzan los valores sonoros más elevados, hacia el Paseo de la Ermita del Santo y su enlace con el Paseo del Quince de Mayo (en dirección hacia el Estadio Vicente Calderón, en la otra orilla del Río Manzanares).

En general, el entorno urbano en el que se sitúa el parque es bastante tranquilo. La figura 8.34. permite observar el parque y sus alrededores, con las posibles fuentes de ruido que contaminan su interior desde el norte, fundamentalmente las recién mencionadas vías rodadas. Hay que añadir que, al encontrarse elevado sobre dichas vías, los taludes perimetrales ejercen una función de barrera acústica que mitiga algo la percepción del ruido en ciertas partes de su interior. Así, el contacto en forma de talud con la zona residencial del barrio de San Isidro confiere a la parte del sur del parque un ambiente más calmado.



En definitiva, se trata de un parque medianamente ruidoso, en el que coexisten zonas con niveles sonoros que superan lo aceptable, aunque no demasiado, con otras de niveles tolerables, dibujándose unas diferencias acústicas y una gradación bien definidas, que no obstante permiten encontrar rincones suficientemente sosegados.

\* \* \*

En resumen, los casos aquí estudiados representan una muestra de distintos patrones sonoros característicos de los parques madrileños, en estrecha relación con su tamaño, su ubicación y entorno urbano, las vías de comunicación que los rodean y las actividades que en ellos se dan, resultando, pues, de una combinación de factores que determina el confort sonoro que van a poder disfrutar sus usuarios.

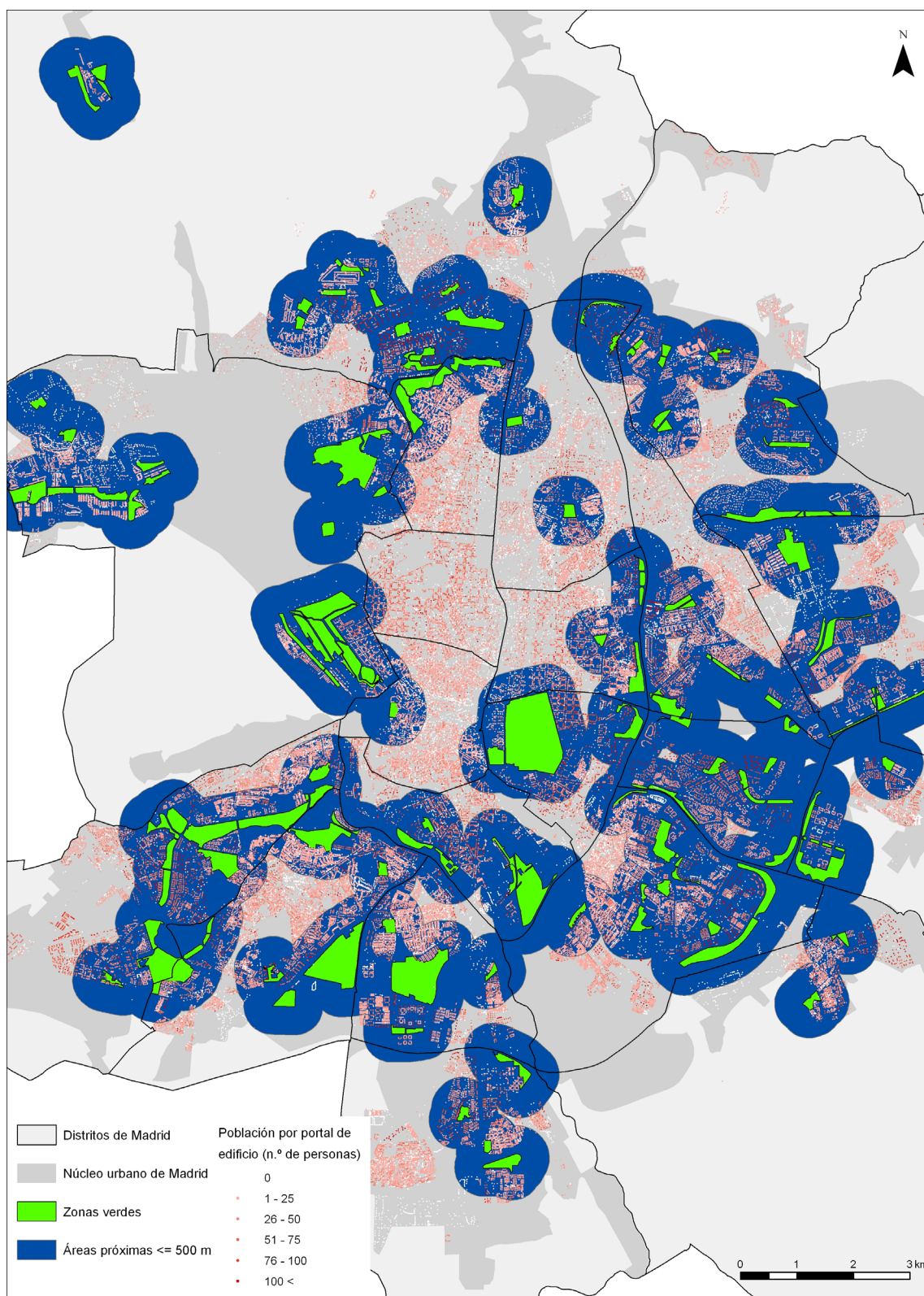
#### 8.3.5.3. Caracterización y evaluación de la población próxima a zonas verdes tranquilas

Como continuación de la recién descrita caracterización del ambiente acústico de las zonas verdes de Madrid, se completa este trabajo con el análisis de la población próxima a zonas verdes tranquilas, encaminado a evaluar la población potencialmente beneficiada por éstas, según los dos métodos propuestos en el apartado 8.3.4.3.

##### *Método 1. Población potencialmente accesible a zonas verdes tranquilas de modo peatonal*

Como se describió anteriormente, este método considera únicamente a la **población que, caminando, puede acceder a zonas verdes situadas como muy lejos a 500 m de distancia respecto a su residencia**, es decir, la población residente en edificios cuyo portal se encuentre contenido en la zona de influencia (o *buffer*) de 500 m alrededor de alguna zona verde, como puede observarse gráficamente en la figura 8.38.

Figura 8.38. Áreas próximas a 500 m o menos de las zonas verdes y población por edificios de Madrid de 2001.

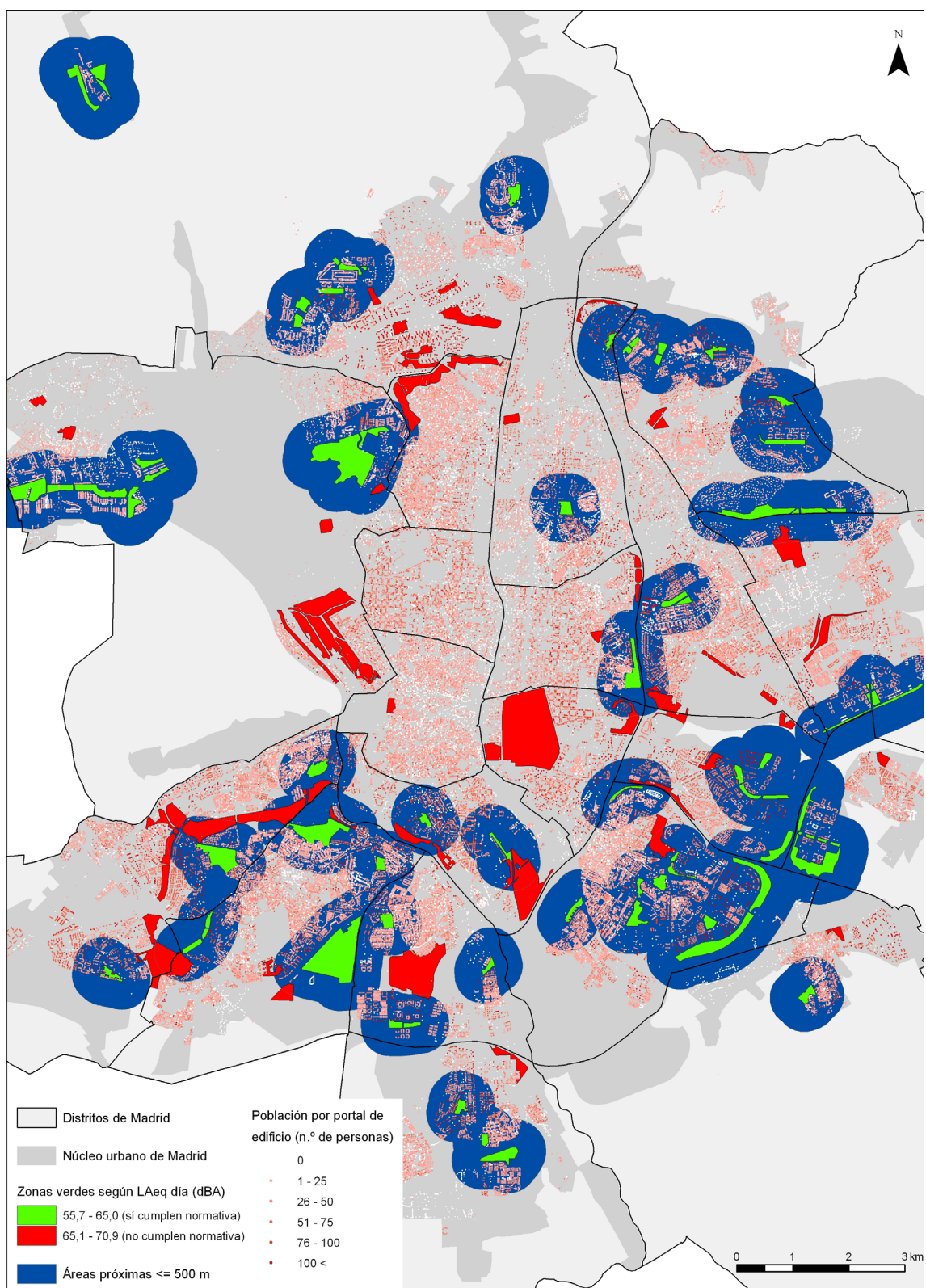


Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.

El resultado de computar dicha población próxima en Madrid revela una cifra de **1.644.778 personas**, que representa el 63,9 % del total de población georreferenciada (2.573.383 personas). Se trata de una cantidad razonablemente buena, aunque bastante mejorable. A este análisis numérico hay que añadir que, espacialmente, los distritos de la “almendra central” de Madrid son los más desfavorecidos, en especial los de la zona centro y centro-norte, destacando el de Chamberí.

Tras considerar la totalidad de zonas verdes de Madrid contempladas (99), seguidamente cobra gran importancia estudiar qué sucede con aquéllas 52 cuyo ambiente acústico cumple con el valor sonoro límite establecido por la normativa, es decir, aquéllas cuyo nivel sonoro medio es inferior o igual a  $L_{Aeq\text{ día}} = 65\text{ dBA}$ , que son las que representan espacios tranquilos propiamente dichos. Considerando exclusivamente la **población potencialmente beneficiada por estas zonas verdes tranquilas a una distancia de 500 m o inferior respecto a su residencia**, representadas en la figura 8.39., se obtiene como resultado una cifra de **925.317 personas**. Se trata del 36,0 % del total de población georreferenciada, resultando así una proporción muy inferior a la anteriormente obtenida para el conjunto de zonas verdes. Ello pone de manifiesto una situación bastante desfavorable una vez más para los ciudadanos que busquen espacios tranquilos, y que perjudica más a los distritos de la “almendra central” de Madrid, especialmente a Chamberí, Centro y Tetuán. Por contra, los distritos periféricos gozan de parques con una mejor “salud” acústica.

Figura 8.39. Áreas próximas a 500 m o menos de las zonas verdes “tranquilas” y población por edificios de Madrid de 2001.



Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.

En resumen y, comparando los resultados alcanzados, se puede concluir que en Madrid un 63,9 % (1.644.778 personas) del total de ciudadanos (2.573.383) reside a una distancia de 500 m o menos de alguna zona verde, a la que poder acceder en escaso tiempo; sin embargo, sólo el 36,0 % (925.317 personas) habita a 500 m o menos respecto a alguna zona verde considerada como tranquila, en la cual se respetan los niveles sonoros recomendados por la normativa.

### *Método 2. Población potencialmente accesible a zonas verdes tranquilas de modo peatonal, con conducta espacial elástica respecto al tamaño y distancia a ellas*

Según se expuso anteriormente, este método, que entendemos resulta más riguroso que el anterior para la cuantificación de la población, define diversos alcances de atracción según el tamaño de cada zona verde. Los 4 intervalos de superficie fijados (*vid.* tabla 8.5.), cada uno con diferente potencial de atracción de usuarios, permiten generar una serie de coronas excluyentes, tal y como se muestra gráficamente en la figura 8.40., en la que se recogen los datos poblacionales obtenidos a partir de la información de residentes por portales contenidos en cada una de las coronas consideradas. Completando el procedimiento con la ponderación correspondiente a la proporción de población potencialmente accesible en cada una de ellas, el cálculo de la cantidad total de **población potencial accesible a zonas verdes** permite obtener como resultado **1.865.974 personas**, que representan el 72,5 % del total de población georreferenciada (2.573.383 personas), una cifra aceptable, si bien se pone de manifiesto un marcado vacío en la confluencia de varios distritos del norte de la “almendra central” (Chamberí y Chamartín sobre todo, junto con ciertas partes de Tetuán y Salamanca).

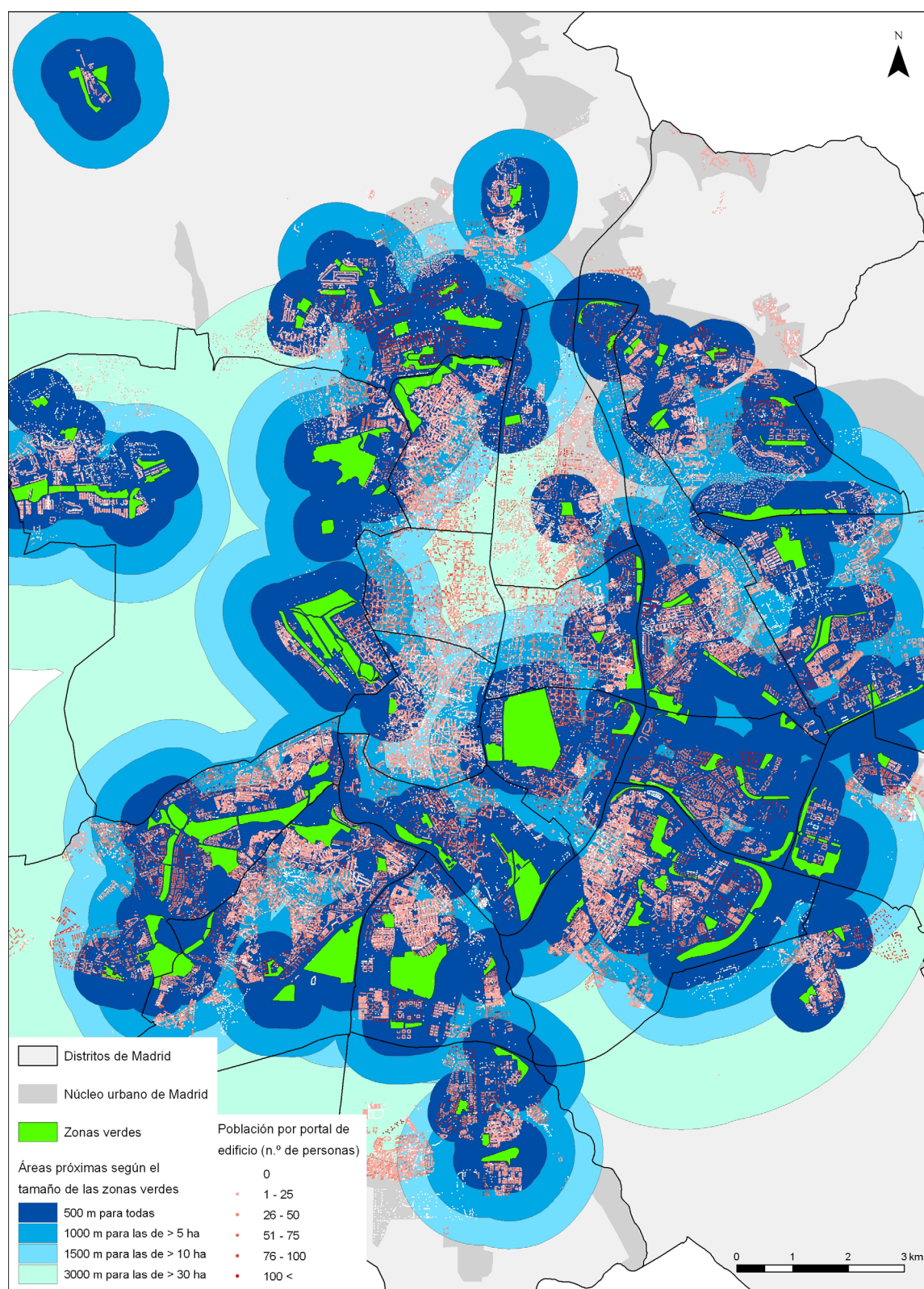
Al igual que para el método 1, tras considerar la totalidad de zonas verdes de Madrid, seguidamente se procede a averiguar el resultado de contemplar exclusivamente las zonas verdes tranquilas que cumplen el valor sonoro límite establecido por la normativa ( $L_{Aeq\text{ día}} \leq 65 \text{ dBA}$ ). El resultado cartográfico es el representado en la figura 8.41.

Numéricamente, se obtiene que la cantidad de **población potencialmente beneficiada por las zonas verdes tranquilas** es de **1.176.037 personas**. Se trata del 45,7 % del total de población, una cifra discreta y mejorable, aunque más positiva que la anteriormente obtenida como resultado de aplicar el método 1. El mayor vacío se deja sentir en la zona centro de Madrid y hacia la parte norte de la “almendra central”. Por el contrario, los ámbitos más cubiertos se hallan en la periferia sudeste y sudoeste de la ciudad.

Asimismo, se aprecia una marcada reducción en la cantidad de población próxima a estos equipamientos cuando se considera la accesibilidad a la totalidad de zonas verdes o se tienen en cuenta sólo las verdaderamente tranquilas.

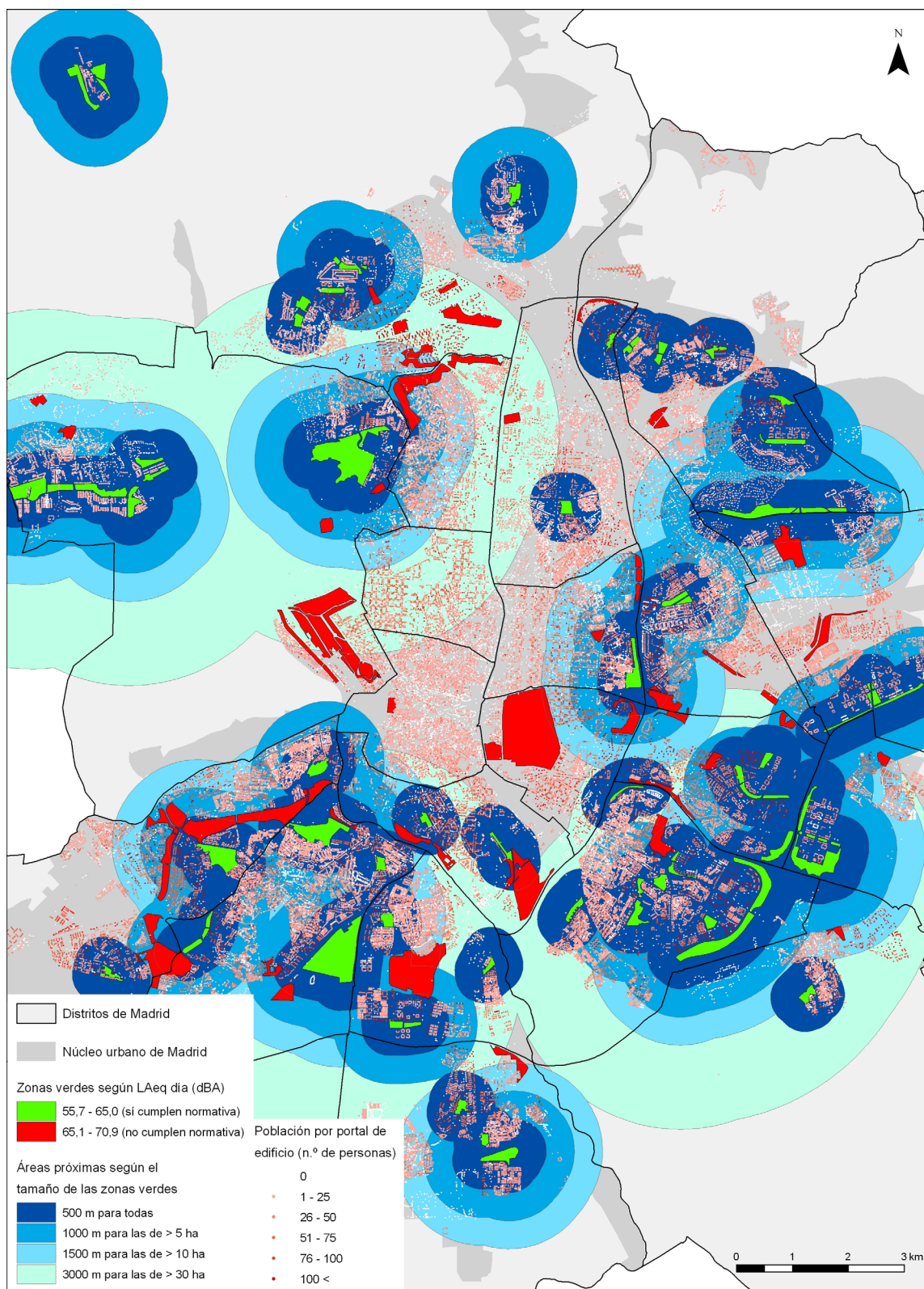


Figura 8.40. Áreas próximas a las zonas verdes con diferentes alcances de atracción según el tamaño de éstas, y población por edificios de Madrid de 2001.



Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.

Figura 8.41. Áreas próximas a las zonas verdes “tranquilas” con diferentes alcances de atracción según el tamaño de éstas, y población por edificios de Madrid de 2001.



Fuente: elaboración propia con datos del PGOUM y del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.

\* \* \*

Valorando comparativamente ambos métodos, cabe sostener que, frente a la simplicidad del primero, limitado a una distancia rígida de 500 m, el segundo resulta más flexible a la hora de considerar a la población potencialmente accesible y permite obtener unos resultados más realistas, a la vez que optimistas.

### **8.3.6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**

La ciudad y sus ruidos obligan a la búsqueda de lugares de sosiego donde descansar y disfrutar, y las zonas verdes constituyen equipamientos ideales para proporcionar estas funciones, representando piezas clave dentro de la estructura urbana de la ciudad, hoy por hoy imprescindibles para el equilibrio de la urbe y la calidad de vida de los ciudadanos. Por ello, este tipo de dotaciones municipales, por su influencia positiva en el bienestar de las personas, cobra especial relevancia en las sociedades y ritmos de vida urbanos actuales, siendo parte y función del medio urbano. Desempeñan un importante papel en la regulación y reducción de un problema ambiental y social tan crítico como es el del ruido, y por otra parte aportan un valor especial y personalidad propia a muchas ciudades, como la capital madrileña.

Las zonas verdes se muestran particularmente sensibles a la influencia de agentes contaminantes como el ruido, y la atención a su dimensión acústica ambiental resulta exigua por parte de la comunidad científica, pero también por las instancias políticas y por la ciudadanía. Aquí se ha pretendido realizar una aportación en ese sentido, abordando el estudio del ambiente sonoro en el seno de los parques de la ciudad de Madrid.

Como balance del estudio realizado cabe señalar, en primer lugar, que con el objetivo de conocer el patrón de los niveles sonoros registrados en cada parque y analizar su variabilidad interior y la relación con las posibles fuentes sonoras, mediante la tecnología SIG e indicadores estadísticos de los datos muestrales procedentes del Plano Acústico de Madrid de 2002, se ha formulado un método de análisis descriptivo de la intensidad y variabilidad del ruido interior. Concretamente, para la asignación de los niveles sonoros asociados a cada parque se ha contemplado su entorno próximo significativo, a modo de banda sonora circundante, sobre la base de que éste también ejerce influencia sobre el ruido percibido dentro de sus límites, fijando para ello justificadamente una cierta distancia respecto al borde del parque.

La metodología aquí planteada para abordar el estudio de las dotaciones verdes de Madrid desde el punto de vista acústico, se considera aplicable a otras ciudades en las que se disponga de un modelo de datos similar, en cuanto a niveles sonoros y delimitación de subconjuntos del espacio urbano como son las zonas verdes.



En segundo lugar, debe subrayarse una vez más que resulta factible abordar más eficientemente, a través de las tecnologías de la información geográfica, las problemáticas ambientales urbanas en relación con la evaluación de la intensidad acústica que afecta a entornos sensibles y protegibles como son las zonas verdes.

En tercer lugar y, en lo concerniente a las fuentes, se recalca el minucioso trabajo requerido para la adecuada preparación del modelo de geodatos para las zonas verdes a partir de la cartografía urbanística digital empleada, tanto en cuanto a su geometría como a la nomenclatura. Es de destacar, asimismo y una vez más, la valiosa información recogida en el Plano Acústico de Madrid de 2002, con las limitaciones ya comentadas a lo largo de este trabajo (*vid.* apartado 6.2.3.6.) referentes a su estructuración cuadriculada (que ha habido que solventar mediante la conversión puntual a sus centroides), el desconocimiento de la localización exacta de los puntos muestrales a partir de los cuales se elaboró, sus datos enteros resultantes de un redondeo, y su paso de malla de 200 m algo excesivo para estudios de detalle como los aquí abordados. Pese a lo anterior, la cobertura regular de los datos (basada en un muestreo espacial equidistante) difiere y es más representativa que la de otros estudios, en los que se han priorizado ciertas zonas, por ejemplo las más frecuentadas por los ciudadanos, como hicieron Zannin *et al.* (2006). Lam *et al.* (2005), sin embargo, a partir de un muestreo espacial irregular, estimaron luego con un modelo los niveles de ruido internos en cada uno de los parques, lo que les permitió subsanar esa limitada representatividad. En todo caso, la fuente disponible de datos sonoros ha permitido adoptar un método con finalidad descriptiva relativamente sencillo, pero efectivo para la evaluación ambiental, apoyado en un tratamiento con SIG y técnicas estadísticas. Estas técnicas han podido ser algo más completas y variadas que en los análisis de otros autores, por cuanto no se trataba de estimaciones, sino de datos observados y con cobertura total.

Por otra parte, y en cuanto al alcance de esta investigación, hay que subrayar que se ha encontrado con otra limitación seria impuesta por la información acústica disponible, en el sentido de que el Plano Acústico de Madrid de 2002 no cubre la totalidad del municipio, sino la mayoría de zonas urbanizadas, de manera que determinados e importantes parques y zonas verdes carecían por tanto de datos sonoros imputables y no han podido ser considerados en este estudio. Algunos de ellos son de gran tamaño, como la Casa de Campo, o habían sido creados recientemente, como el Parque Lineal del Manzanares Sur. Ante la posibilidad de futuros Planos Acústicos de Madrid más completos y, una vez ensayada esta metodología aquí propuesta, sería factible el abordaje de la totalidad de parques y zonas verdes de Madrid.

Respecto a la distribución espacial de las zonas verdes consideradas, en Madrid existe un desigual reparto: mientras que hacia el centro predominan las de reducido tamaño, ya sean de barrio o pequeños parques y jardines históricos, en las zonas del llamado Ensanche (originario del siglo XIX) y nuevos desarrollos urbanísticos periféricos son

generalmente de mayor superficie. Asimismo, existe un elevado número de zonas verdes de borde en torno a grandes vías de comunicación.

En cuarto lugar, dado que el ruido viene determinado por una distribución concreta en el tiempo y en el espacio, significativa para las actividades que en los espacios en cuestión se dan, cobra sentido considerar especialmente el periodo temporal diurno para el estudio acústico de las zonas verdes, por sus horarios de uso dominante. Pero, y también en relación con la información sonora, sería deseable obtener un muestreo acústico temporal detallado que pudiera poner de manifiesto la relación entre niveles sonoros en el parque, preferencias y conductas de frecuentación de sus usuarios, por ejemplo sabiendo que son visitados mayoritariamente en horas de luz diurna, sobre todo por las tardes tras la salida de la población infantil de los colegios, o en fines de semana. Estudios como el de Brambilla y Maffei (2006) resultan encomiables en ese sentido y abren sugestivas posibilidades a la indagación. A falta de datos de frecuentación en parques, hoy por hoy inexistentes y de obtención inviable por los recursos con los que cuenta esta investigación, queda abierta la posibilidad de una futura ampliación del análisis en esta dirección.

En quinto lugar, los hallazgos empíricos evidencian la elevada, y a veces desigual, intensidad sonora de los parques urbanos de Madrid, lo que permite valorar su idoneidad o adecuación para las funciones de descanso, recuperación y disfrute, dado que la presencia de sonido no deseado en el entorno puede convertirse en una molestia para el bienestar, especialmente en entornos donde precisamente se busca sosiego. El examen del cumplimiento de los límites legales contemplados por la normativa municipal muestra unos resultados insatisfactorios, pues casi la mitad de las zonas verdes de Madrid rebasan los niveles recomendables, si bien hay que decir que, entre las que sí los cumplen, algunas disfrutan de unos niveles bastante reducidos y adecuados a su función.

En sexto lugar, profundizando en las indagaciones empíricas llevadas a cabo para el conjunto de dotaciones verdes urbanas de la ciudad de Madrid, se ha determinado el ambiente acústico interno de una muestra de 5 de sus parques, seleccionados por su representatividad y significación. Para ello, se ha formulado un método de análisis descriptivo de la intensidad y variabilidad espacial del ruido en su interior, con un tratamiento de detalle que ha posibilitado identificar y conocer el patrón espacial general de los niveles de ruido registrados en cada parque (cuestión que también lograron Lam *et al.* 2005), analizar su variabilidad interior en relación con su morfología y poner aquéllos en relación con las posibles fuentes sonoras de su derredor, revelando diferentes esquemas de variabilidad intra-parque del  $L_{Aeq\text{ día}}$ , en función de su tamaño, las actividades que soportan y las funciones urbanas del entorno en el que se ubican, particularmente las vías de tráfico cercanas o interiores. No obstante, el tamaño algo excesivo de la cuadrícula muestral sonora impide llegar a mayor detalle en ciertas zonas significativas. Los patrones de ruido intra-parque hallados muestran algunas claras similitudes con los de otros lugares, en particular la disminución del ruido hacia el interior del parque y el notable impacto que tienen las vías de

alto tráfico circundantes sobre los niveles sonoros de la franja más exterior. Ello abre el camino para adoptar medidas correctoras que garanticen unos parques con superior placidez y calidad ambiental.

También se ha podido enunciar un diagnóstico valorativo sobre la idoneidad de sus niveles sonoros para la función de descanso que estos espacios verdes deben brindar, *i. e.* la adecuación a las funciones reparadoras y ociosas que les son propias, prestando especial atención al cumplimiento de los límites establecidos por la normativa. En el caso concreto de los 5 parques seleccionados, todos menos uno rebasan los niveles recomendables (según los estadísticos de centralidad), aunque en ciertos casos no mucho. Cabe advertir que en los diferentes trabajos se aplican estándares de aceptación diferentes, lo que hace que las valoraciones no sean totalmente comparables. Ello no obsta para que los autores consultados, al igual que sucede en este estudio, se pronuncien negativamente sobre el ruido excesivo existente en los parques urbanos, aunque puedan hallarse ámbitos dentro de ellos que cumplen los límites recomendados por las normativas y por tanto resulten más saludables.

Aunque la propia vegetación, como elemento destacado en los parques y zonas verdes, pueda llegar a producir una cierta disminución del ruido percibido tras ella al actuar como una barrera física o pantalla para la dispersión de las ondas sonoras, otras claves importantes para la reducción de los efectos y molestias generados por el ruido urbano radican en el propio planeamiento urbanístico, los avances tecnológicos y la mejora de la conducta cívica del ciudadano.

En séptimo y último lugar, y tras haber definido y caracterizado los ambientes acústicos de las zonas verdes de Madrid, el siguiente paso aquí abordado ha sido ir más allá para tomar en consideración a la población potencialmente usuaria de dichos espacios públicos, con el fin de proporcionar un indicador de la utilidad social que cabe esperar de ellos. A tal fin se han adoptado dos métodos. El primero saca a la luz que una proporción significativa de la población madrileña (63,9 %) reside a una distancia de 500 m o menos respecto a alguna zona verde, aunque por contrapartida son bastantes menos las personas (36,0 %) que a esa misma distancia pueden encontrar una zona verde realmente tranquila en la que se cumpla el límite sonoro recomendado por la normativa. El método 2 resulta más flexible y realista a la hora de considerar a la población potencialmente accesible y con él se obtienen unos resultados más optimistas para el panorama acústico global de las zonas verdes madrileñas, a las que tendría facilidad de acceso el 72,5 % de la población, aunque para el caso de las tranquilas se reduce al 45,7 %.

Contrastando los dos métodos propuestos, el primero, aunque más fielmente ajustado a las especificaciones del indicador esbozado por el WHO ECEH, se caracteriza por su simpleza, de manera que el segundo, al ampliar el radio de influencia de las zonas verdes definiendo diversos alcances de atracción e introducir una ponderación en la proporción de población potencialmente accesible, según el tamaño de las mismas, tal como

estipula la ley del *distance-decay* y muestran las evidencias sobre conducta espacial de los usuarios de parques, se revela como más exacto y podría servir para mejorar y afinar la propuesta de indicador realizada por la OMS dentro del marco de trabajo sobre salud ambiental.

En cuanto a la influencia del tamaño de los parques y zonas verdes sobre su capacidad de atracción o número de personas o usuarios que potencialmente pueden visitarlo, los intervalos de superficie aquí propuestos para el análisis se basan en las evidencias empíricas más fiables encontradas. A falta de datos de frecuentación, hoy por hoy inexistentes para el conjunto de zonas verdes de Madrid y de obtención inviable por los recursos con los que ha contado esta investigación, queda abierta la posibilidad de una futura ampliación del análisis en esta dirección.

Asimismo, y tras el abordaje aquí realizado para el conjunto de zonas verdes, tranquilas o no, de Madrid, otra futura vía de análisis se fundamentaría en el cálculo de la potencial población accesible a cada parque por separado.

En resumen, este trabajo ha intentado proporcionar un esquema metodológico sencillo a las administraciones públicas para la caracterización y valoración de los espacios verdes públicos desde el punto de vista de su tranquilidad (calidad) ambiental y, por ende, de su idoneidad para que los ciudadanos puedan relajarse y descansar. De nuevo la potencialidad de los SIG, como tecnología para el diagnóstico y apoyo a las decisiones espaciales, ha sido patente al permitir conocer esas externalidades ambientales que afectan a funciones y entornos altamente sensibles como son las zonas verdes y que deben contribuir a la calidad de vida y bienestar ciudadanos.

La elevada, y a veces desigual, intensidad sonora de los parques urbanos de la ciudad de Madrid invita a trabajar en una línea de acción para reducir los niveles sonoros registrados en su entorno, mayoritariamente originados por el tráfico rodado, con la finalidad de asegurar las funciones reparadoras y de descanso que deben ofrecer a los ciudadanos. Aunque parezca muy lejano aún, no debería olvidarse que el horizonte deseable sería disponer de una planificación de los espacios públicos, entre ellos los parques, que garantizase unos paisajes sonoros armónicos y acordes con las actividades que en ellos se desarrollan, tal como apuntaba Barrett (s. f.) en unas breves disquisiciones.

## **9. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**

En este capítulo final se formulan las conclusiones más relevantes, convenientemente fundadas en los análisis ejecutados, relativas al conjunto de la investigación, junto al balance de sus contribuciones y los hallazgos más relevantes obtenidos, valorando su alcance y las perspectivas de continuidad que surgen en el horizonte, e insistiendo en su interés científico y social.

## **9.1. BALANCE DE HALLAZGOS Y LOGROS**

A lo largo de todos los análisis realizados se han ido exponiendo y comentando los diferentes resultados obtenidos, no obstante, a continuación se sintetizan aquéllos que presentan un carácter más notable. Unos conciernen a cuestiones de datos, otros a aspectos metodológicos y otros a hallazgos empíricos.

- En primer lugar, el trabajo ha logrado desvelar una serie de hallazgos empíricos que suponen aportaciones significativas y originales sobre los rasgos de la intensidad sonora ambiental de la ciudad de Madrid y sus interacciones con la población, en la que se considera la primera caracterización sistemática y detallada, espacial y temporalmente, del ambiente sonoro de la ciudad, de ciertos equipamientos sensibles y de algunas de sus relaciones socio-ambientales.
- Se ha conseguido ensayar y establecer un conjunto de procedimientos analíticos válidos para caracterizar y evaluar esos aspectos y para explicar las relaciones entre indicadores del ruido ambiental y la percepción social del mismo.
- Rediseño y construcción del Plano Acústico oficial de Madrid en un formato vectorial compatible con la mayoría de las aplicaciones habituales relacionadas con sistemas de información geográfica más empleadas en la actualidad, tanto a nivel de usuario como profesionales, y útiles para realizar análisis espaciales de la información contenida en el mismo. Se ha conseguido así el objetivo de su integración en un SIG para permitir su ágil manejo, versatilidad y viabilidad de uso/actualización futura.
- Concretando el aspecto relativo a la posible actualización futura periódica del Plano Acústico, y sin sumergirse en el complejo proceso de toma de datos en campo, hay que decir que la actualización de la base de datos sería bastante sencilla, a condición de mantener invariables los identificadores de cada cuadrícula/punto de medición, parámetro que sirve de referencia en todo momento. De manera que tan sólo habría que reasignar los nuevos valores sonoros en su columna correspondiente de la base de datos.
- Comprobación cualitativa del grado de cobertura del Plano Acústico sobre las áreas urbanizadas del término municipal de Madrid, y ajuste del Plano a las mismas.

- Establecimiento y aplicación de un protocolo de análisis para caracterizar el ambiente sonoro de la ciudad, adoptando los distritos como unidad base para el análisis comparativo.
- En lo relativo a hallazgos empíricos, para la fecha considerada, se puede afirmar que los niveles sonoros experimentan un descenso al pasar del periodo diurno (de 7 a 23 h) al nocturno (de 23 a 7 h). Sin embargo, la variabilidad de los niveles dentro de los distritos se mantiene prácticamente constante, sea cual sea el periodo temporal considerado (24 horas, diurno o nocturno).
- Los distritos integrantes del conjunto de la “almendra central” de Madrid (Centro, Arganzuela, Retiro, Salamanca, Chamartín, Tetuán y Chamberí) se desmarcan como los distritos con un ambiente exterior más ruidoso, es decir, con unos niveles sonoros más elevados respecto al resto de Madrid, en los tres periodos temporales considerados. Su mediana supera la del total de Madrid y, en general, presentan una mayor variabilidad de los datos. El orden varía según se considere el periodo diurno (Chamberí, Arganzuela, Retiro y Salamanca) o nocturno (Retiro, Salamanca, Chamberí y Arganzuela).
- Por el contrario, los resultados parecen indicar que Vicálvaro es uno de los distritos con unos niveles de ruido ambiental más soportables, en los tres periodos temporales considerados (24 horas, diurno y nocturno), pues sus niveles sonoros son de los más bajos, presentan una variabilidad relativamente escasa y su mediana es la menor. Sin embargo, por otra parte es importante observar que se trata de uno de los distritos con menor número de cuadrados del Plano (81), hecho que podría influir en la representatividad de este resultado. En el periodo diurno le siguen Hortaleza, Moncloa-Aravaca y Fuencarral-El Pardo, y en el nocturno Puente de Vallecas y Fuencarral-El Pardo.
- Por tanto, a nivel espacial, se ha comprobado en términos generales que los niveles sonoros ambientales tienden a disminuir al irse aproximando a la periferia.
- La zona acústicamente más conflictiva de Madrid corresponde a la “almendra central”, dentro de la cual las situaciones sonoras más desfavorables (que afectan al “peor” 10 % de los cuadrados maestros del Plano), tanto durante el periodo diurno como el nocturno, se viven en Salamanca, Retiro y Tetuán (Chamberí el que menos dentro de esa zona). Del resto de distritos, Moratalaz es el menos perjudicado de todos, aunque aún así presenta niveles sonoros elevados.
- Los niveles sonoros diurnos globales del municipio de Madrid se encuentran rozando el valor límite de 65 dBA establecido por la normativa. Por distritos, los centrales lo superan claramente, sobre todo Chamberí y Arganzuela, mientras que en los periféricos hay una clara predominancia de cuadrados del Plano con nivel sonoro inferior a 65 dBA.

- Los niveles sonoros nocturnos globales del municipio de Madrid incumplen de manera generalizada el valor límite de 55 dBA establecido por la normativa. Todos los distritos, manifiestamente los centrales, lo superan con claridad, sobre todo Chamberí y Arganzuela. La proporción de cuadrados del Plano que sí cumplen el límite aumenta al acercarse hacia las zonas periféricas, si bien no llegan a representar aproximadamente más de 1/3 del total de cada distrito.
- Desde el punto de vista metodológico, en lo concerniente a la determinación y caracterización del entorno sonoro próximo a equipamientos urbanos sensibles, se han ensayado dos métodos, comprobando que la aplicación del promedio de datos muestrales sonoros próximos, frente a la del dato más cercano, implica una homogeneización de los valores estimados, reduciendo la variabilidad en torno al centro de la distribución de resultados (mediana). La notable variación sonora en cortas distancias queda así reemplazada por un indicador que se considera más representativo del entorno que un solo dato, el más cercano, que puede ser incluso anómalo. El ruido puede ser muy diferente en una u otra fachada u orientación del equipamiento, según la exposición a las fuentes emisoras. La importancia de este análisis va dirigida al aporte de una metodología útil y válida para la gestión municipal del problema del ruido.
- El diagnóstico de la situación acústica de los equipamientos estudiados, en particular los hospitales, indica, con las cautelas inherentes al método de estimación empleado, que en la fecha considerada el panorama sonoro de sus entornos parece claramente insatisfactorio, por excesivamente ruidoso. Junto a los diseños urbanísticos (emplazamientos, usos del suelo adyacentes, etc.), las condiciones de funcionamiento urbano actual han desembocado en una situación poco sostenible y han necesitado de medidas para corregirla. Más allá de las encomiables determinaciones normativas que marcan unos objetivos atinados, el problema de reducir la agresión potencial del ruido ambiental en torno a los equipamientos más sensibles y alcanzar los rasgos de calidad ambiental fijados en las áreas acústicas definidas por la Administración municipal conforma un desafío de resolución compleja y quizá costosa, dada la pluralidad de agentes implicados (productores de ruido como los conductores y responsables de actividades cercanas, gestores de los propios equipamientos, urbanistas/planificadores, Gobierno municipal, ciudadanos, etc.).

Al respecto y para las situaciones urbanas consolidadas, a corto plazo sería preciso combinar medidas orientadas a disminuir la generación de ruido en sus entornos, junto con medidas paliativas de protección sonora del equipamiento (barreras, insonorización, etc.) y medidas de control disciplinario. Asimismo, una política a corto plazo de control de usos del suelo adyacentes, procurando la exclusión de actividades “ruidosas” sería recomendable en tales ámbitos. Respecto a los nuevos emplazamientos, parece de todo punto ineludible extremar el rigor en los proyectos y diseños urbanísticos



de los entornos de equipamientos sensibles al ruido, para evitar situaciones tan desfavorables como las halladas en Madrid.

- Este trabajo ha abordado también el estudio del ambiente sonoro en el seno de los parques y zonas verdes de Madrid, los cuales deberían constituirse como espacios de descanso y sosiego dentro del dosel urbano ante el serio problema que el ruido supone para la salud física y psicológica de las personas. Los hallazgos empíricos evidencian la elevada, y a veces desigual, intensidad sonora en ellos, lo que permite valorar su idoneidad o adecuación para las funciones de recuperación y disfrute que deben ofrecer a los ciudadanos. El examen del cumplimiento de los límites legales contemplados por la normativa municipal muestra unos resultados insatisfactorios, pues casi la mitad de las zonas verdes rebasan los niveles recomendables, si bien hay que decir que, entre las que sí los cumplen, algunas disfrutan de unos niveles bastante reducidos y adecuados a su función. Lo deseable sería conseguir llegar a disponer de una planificación de los espacios públicos, entre ellos los parques, que garantizase unos paisajes sonoros (*soundscapes*) armónicos y acordes con las actividades que en ellos se desarrollan.
- Los cinco casos de detalle estudiados representan una muestra de distintos patrones sonoros característicos de los parques madrileños, en estrecha relación con su tamaño, su ubicación y entorno urbano, las vías de comunicación que los rodean y las actividades que en ellos se dan, resultando, pues, de una combinación de factores que determina el confort sonoro que van a poder disfrutar sus usuarios. Los diferentes esquemas de variabilidad espacial del ruido intra-parque hallados muestran una disminución de los niveles sonoros hacia el interior del parque y el notable impacto que tienen las vías de alto tráfico circundantes sobre los niveles sonoros de la franja más exterior de los mismos. Ello abre el camino para adoptar medidas correctoras que garanticen unos parques con superior placidez y calidad ambiental.
- Por lo que respecta a la evaluación de la población próxima a zonas verdes o potencialmente usuaria de dichos espacios públicos, como indicador de su utilidad social, los métodos propuestos sacan a la luz que una proporción significativa de la población madrileña reside a una distancia de 500 m o menos respecto a alguna zona verde, aunque por contrapartida se reduce bastante la proporción de personas que a esa misma distancia pueden encontrar una zona verde realmente tranquila en la que se cumpla el límite sonoro recomendado por la normativa.

## **9.2. CONCLUSIONES GENERALES**

Con un carácter más general que los hallazgos concretos anteriores, se enuncian aquí las conclusiones más relevantes, relativas al conjunto de la investigación:

- En primer lugar, hay que decir que la relevancia de este estudio estriba en que ha abordado cuestiones y problemas de demostrado interés ambiental, social, económico y político-administrativo. Los problemas ambientales urbanos a los que se enfrenta la sociedad y la Administración cada vez cobran más importancia a causa de su influencia sobre la salud y bienestar de los ciudadanos, y deben integrarse en las políticas y gestión locales, desde una perspectiva de desarrollo integrado y sostenible. Por otra parte, hoy en día se puede apreciar con más nitidez cómo éstos inciden sobre la salud y la sanidad. La línea de trabajo aquí seguida encara un importante y soslayado problema ambiental urbano al que se enfrenta la Administración municipal y que perturba la vida de la mayoría de la población.
- Partiendo de la base de que el municipio de Madrid es pionero en la realización de planos acústicos en España y ha implementado una red de vigilancia de parámetros ambientales, entre los que se encuentra el ruido, este estudio supone un aporte a la generación de conocimiento sobre este problema urbano. La principal aplicación de la investigación reside en el establecimiento de una metodología de trabajo y de las bases operativas para la realización de estudios caracterizando el ambiente acústico urbano y de evaluación de la potencial afección a la población y equipamientos por el ruido ambiental.
- En el estudio se ha comprobado la adecuación del empleo de las tecnologías de la información geográfica aplicadas al análisis espacial de rasgos ambientales, en este caso resultado de la interacción hombre-medio ambiente. Debe destacarse que ha resultado factible abordar más eficientemente las problemáticas ambientales urbanas en relación con la evaluación del impacto acústico, desde el punto de vista científico, a través de estas tecnologías. Con ellas, y la concurrencia de técnicas gráficas y estadísticas, se ha hecho viable la aprehensión de ciertas relaciones socio-ambientales de forma más clara y realista, facilitando el diagnóstico valorativo, base para decisiones ulteriores.
- En el caso concreto de los equipamientos analizados, como balance de su estudio cabe señalar, en primer lugar, que se ha definido y propuesto una metodología efectiva para la caracterización del medio ambiente sonoro (i. e. entorno acústico envolvente) de tales equipamientos especialmente sensibles a este contaminante ambiental. Con el análisis de dichos entornos, el diagnóstico valorativo sobre su idoneidad y examen del cumplimiento de los límites legalmente establecidos, cobra pleno sentido esta línea de trabajo que encara este importante problema ambiental urbano al que hacen frente los ayuntamientos, los equipamientos concretos y los ciudadanos. La metodología expuesta y

las operaciones de geoprocesamiento disponibles en los SIG y aplicadas, han determinado la viabilidad de este estudio, evidenciando de nuevo la potencialidad de los SIG como tecnología para el diagnóstico y apoyo a la toma de decisiones espaciales, por cuanto permite medir y actuar sobre las externalidades ambientales que, originadas mayoritariamente por el tráfico, afectan a funciones y entornos altamente sensibles y protegibles como son los hospitalarios, y por tanto demandantes de protección.

- La integración del Plano Acústico oficial de Madrid en un entorno SIG resulta de gran importancia, pues es el reflejo de que esta investigación, con un carácter eminentemente aplicado, ha generado herramientas tangibles para un trabajo futuro en este ámbito, y no se ha ceñido a aspectos únicamente descriptivos. Este carácter aplicado se resalta especialmente en la fase de análisis, en donde ha sido necesario aunar y conciliar elementos técnicos diferentes, como los sistemas de información geográfica, la cartografía digital, la estadística, etc., dentro de un enfoque cuantitativo unitario.
- En lo relativo a la principal fuente de datos empleada en la investigación, el Plano Acústico de Madrid de 2002, es de destacar valiosa información acústica recogida en él, si bien es preciso añadir que el propio diseño del Plano ha introducido ciertas limitaciones a la capacidad del análisis. Por un lado, la estructuración cuadriculada de la información sonora ha supuesto un importante encorsetamiento (que ha habido que solventar en ocasiones mediante el recurso a sus centroides); por otro, el desconocimiento de la localización exacta de los puntos muestrales a partir de los cuales se elaboró. No hay que olvidar, además, que los datos sonoros divulgados en el Plano son enteros, a partir de un redondeo, lo que supone un cierto grado de inexactitud, que tampoco fue enmendable en este trabajo. El paso de malla de 200 m de la cuadrícula también parece algo desajustado (por excesivo) a los efectos de estudios de detalle como los abordados aquí en relación con los equipamientos urbanos. En las zonas donde dicha equidistancia ronda los 100 m (distrito de Centro) se dispone de un grado de información mucho más rica, matizada y se entiende que suficiente y acorde con la *rugosidad* geométrica de los micro-entornos urbanos que se trata de caracterizar.

En este sentido, el objetivo de lograr datos sonoros con mayor densidad espacial o exhaustivos es muy deseable y como tal se está considerando en la generación de los nuevos mapas acústicos (e. g. el de Madrid), lo cual permitiría mejorar la calidad de los indicadores para tales aplicaciones.

- Se considera al Plano Acústico como una herramienta indispensable en el ámbito del desarrollo y planificación territorial (urbanismo, transportes, sanidad, medio ambiente, etc.), y para la gestión municipal, para lo que también resulta fundamental diseñar, elaborar y mantener los planos acústicos considerando sus posibilidades de actualización y revisión futura, ya no sólo porque las disposiciones legales así lo exijan (y estén estableciendo plazos para ello), sino por el propio interés de la entidad administrativa

promotora del plano en estudiar, prevenir y reducir la contaminación acústica existente en el territorio de su competencia. Ello pasa por automatizar y optimizar el proceso de registro y toma de datos en campo, así como su posterior tratamiento. Finalmente, hay que decir que existen los medios técnicos para ello, aunque los elevados costes suponen de momento un lastre para la generalización de los planos.

- En línea con lo anterior, precisamente la metodología aquí planteada ha fomentado e ilustrado una forma de explotar los planos acústicos como una herramienta de análisis y gestión ambiental para la mejora de la calidad de vida y la salud de las personas, que se considera aplicable a otras ciudades en las que se disponga de un modelo de datos similar. Se considera que el empleo de los SIG aporta grandes ventajas para la construcción de los propios planos acústicos y su posterior actualización conforme al continuo crecimiento de la ciudad, así como a la explotación ulterior de los datos sonoros, pudiendo relacionarlos fácilmente con otras variables de tipo socioeconómico y realizar estudios aplicados.
- Se ha comprobado que el medio ambiente acústico de la ciudad de Madrid es complejo y responde a la interacción de diversos factores, tales como los usos del suelo y actividades que se desarrollan, la morfología urbana, los apantallamientos, los materiales constructivos, etc.
- Según las referencias consultadas, entre ellas la Administración municipal, la fente de ruido dominante a lo largo del periodo diurno es el tráfico rodado, especialmente en los días laborables, al igual que sucede durante el periodo nocturno. En este último, además, en fines de semana (viernes y sábados) ganan importancia también las actividades de pública concurrencia, de ocio y funcionamiento nocturno.
- Desde el punto de vista jurídico se está realizando un gran esfuerzo por dotar a nuestro cuerpo normativo de instrumentos lo más eficaces posible, si bien las referencias consultadas indican que arrastramos una tradición de incumplimiento sistemático e incluso impunidad ante las normas aprobadas (Pérez Martos, 2003), dada la dejación de funciones o inactividad municipal (Cano Murcia, 2004). Ello puede significar que nuestra convergencia con Europa resulte más costosa que en otros ámbitos, lo cual va a depender del comportamiento de los ciudadanos y de la voluntad de las distintas Administraciones, para lograr un avance en un frente tan difícil como es la contaminación acústica, que se halla enraizado en las prácticas cotidianas de personas y actividades. Las proyecciones que previsiblemente se producirán estarán relacionadas con la dinámica aplicativa de la normativa de la Unión Europea y las innovaciones de los países de nuestro entorno jurídico más próximo (Alonso García, 1995).

### **9.3. DESARROLLO Y PERSPECTIVAS DE FUTURO**

Las metas alcanzadas en este trabajo, por un lado, invitan a la reflexión del devenir del entorno acústico-ambiental de nuestras ciudades, con la esperanza de poder escribir en el futuro resultados más halagüeños sobre el panorama madrileño y disponer de nueva y actualizada información con la que seguir contribuyendo a generar conocimiento, aprender y aportar instrumentos para mejorar. Y por otro, junto a las propias líneas indagadas, animan a profundizar o completar los análisis concretos aquí realizados, para desvelar cada vez mejor el funcionamiento de la ciudad desde el punto de vista acústico.

Para terminar, se comentan algunas de estas ideas y perspectivas de continuidad que surgen en el horizonte:

- Como en la mayoría de problemas ambientales, las mayores garantías para su resolución se encuentran en la prevención, educación y concienciación, trabajando sobre los propios comportamientos y hábitos de las personas, y la actuación en la fuente es fundamental. Según apuntó Pastor Sainz-Pardo (2008), los planes de estudios reglados (educación primaria, secundaria y universitaria) deben contribuir a modificar actitudes, con contenidos como nociones sobre el ruido, el tráfico rodado, “uno mismo” como emisor, así como la asignatura de “acústica” debería incluirse en más enseñanzas de arquitectura y de determinadas ingenierías.
- La necesidad de adoptar un enfoque multidisciplinar se hace patente en esta investigación, desde el momento en el que este tipo de estudios debería servir de apoyo para la adopción de planes de acción con vistas a prevenir, vigilar y reducir el nivel sonoro ambiental siempre que sea necesario, y particularmente cuando la exposición al mismo pueda presentar efectos nocivos para la salud y bienestar humanos. Puede suponer igualmente un aporte a las técnicas de apoyo a la toma de decisiones espaciales (modelos de optimización espacial para actividades molestas).
- Así pues, se podría llegar a hablar en términos de “ordenación acústica” integrada en las futuras políticas de ordenación urbana y territorial, tanto de cara a los nuevos planes, como en labores de evaluación de planes ya ejecutados y situaciones reales. Este tipo de ordenación debería conformar una de las múltiples piezas dentro del proceso de formulación y puesta en práctica de las políticas municipales.
- Es de destacar que las tecnologías de la información geográfica permiten afrontar este estudio de manera multiescalar y con flexibilidad para adaptarse a las características concretas del ámbito espacial considerado. Parece patente la aplicabilidad a otros municipios con núcleos urbanos de menor tamaño que la capital, pero aún así muy poblados, cuyo gran desarrollo y creciente población genera también crecientes

problemas de ruido urbano, en detrimento de la salud, bienestar e incluso productividad de las personas.

- A la vista de los resultados metodológicos, se considera posible el diseño de unos procedimientos efectivos para estimar el impacto acústico potencial en áreas urbanas extensas, adoptando el marco conceptual definido por la tríada actividad-tiempo-espacio, que enmarca el decurso cotidiano de la vida humana.
- El enorme potencial que ofrecen los planos acústicos como herramienta para la caracterización y gestión del problema del ruido urbano no ha sido aún aprovechado del todo, tanto por el esfuerzo temporal que requiere su elaboración, como por la relativa juventud de la normativa que obliga a ello, si bien hay que decir que la Administración madrileña se situó en una posición puntera desde los orígenes de este tipo de representaciones de la información acústica en España, antes siquiera de la existencia de la *Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental* y de que la *Ley 37/2003, del Ruido*, otorgase competencias a los ayuntamientos para la elaboración de los mapas de ruido que no excediesen de su término municipal (art. 4.4.b). Desde hace relativamente poco tiempo la Administración municipal está dedicando mayores esfuerzos a la actualización del Plano Acústico y a la utilización de los medios técnicos adecuados para ello, que pasan indudablemente por el empleo de las tecnologías de la información geográfica. Por otra parte, la *Ley 14/1986, General de Sanidad*, atribuye a los municipios la responsabilidad del control sanitario de los ruidos (art. 42.3.b), para lo cual estas tecnologías tienen bastante que aportar.
- Con los plazos indicados por la *Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental* para la elaboración de mapas de ruido, además de sus posteriores revisiones periódicas, se conseguirá que en unos años la prevención y corrección de la contaminación acústica estén plenamente integrados en la gestión municipal, lo cual será un logro. Con esta línea entronca la razón de ser de esta investigación, diseñada con la intención de obtener unos resultados finales de interés para la gestión ambiental futura del municipio de Madrid y, en su caso, sentar unas bases metodológicas útiles e incluso aplicables, como ya se ha mencionado, a otros términos municipales.
- Aunque parte del análisis realizado a partir del Plano Acústico de Madrid se ha focalizado en el rebasamiento o superación de los valores límite de niveles sonoros vigentes y en el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica a alcanzar (en virtud de la propia concepción de “mapa de ruido” de la citada *Directiva 2002/49/CE* y de la *Ley del Ruido*), el desarrollo futuro de esta investigación contempla un análisis detallado en relación con datos poblacionales.

Ello se refiere al diseño de procedimientos para estimar la magnitud de la población total afectable según niveles sonoros, en cada periodo y unidad espacial o zonas urbanas significativas. Por ejemplo, en cuanto al número de personas afectadas

según diferentes escalas espaciales: en cada distrito, en zonas específicas influenciadas por el tráfico rodado, ferroviario, aéreo o fuentes industriales, etc., tal y como se recoge en el Anexo VI de la Directiva, referente a la *Información que debe comunicarse a la Comisión*, sobre las aglomeraciones urbanas.

Estos procedimientos supondrían una contribución efectiva, basada en datos micro-geográficos de la localización de la población, para desarrollar una metodología que permita identificar y evaluar de forma más exacta el impacto e incidencia que tiene el ruido ambiental sobre la población y el medio ambiente urbano del municipio de Madrid, como complemento a los mapas estratégicos de ruido. Para ello se requerirá de la integración de datos estadísticos de la población, al máximo grado de detalle espacial posible.

En definitiva, establecidos los niveles de ruido que en cada zona de la ciudad se dan para ciertos períodos significativos, se trataría de averiguar: ¿qué cantidad de población se ve afectada por qué nivel de ruido?, ¿dónde, de qué manera y en qué magnitud?, ¿cómo estimar la población afectable en las viviendas, teniendo presente que existen en ellas habitaciones “interiores” y “exteriores”? ¿en qué zonas? ¿en qué momentos? ¿qué categorías sociales sufren qué nivel de ruido en sus entornos residenciales? ¿se ven más penalizados los ámbitos de tipo rico o las zonas pobres?, etc. En esencia, se trata de aproximarse a una medición del grado de malestar/bienestar derivado del medio urbano que nos envuelve. El planteamiento de este análisis presenta un gran interés como herramienta para la gestión y, concretamente, la prevención. Estas ideas entroncarían con las recientes y novedosas líneas de investigación sobre justicia ambiental que se están desarrollando actualmente en la Universidad Autónoma de Madrid.

- El punto anterior se podría ampliar con un análisis del ruido urbano en relación con aspectos socioeconómicos, es decir, una valoración de la supuesta desigual afección sonora que soportan las distintas categorías socioeconómicas o clases socio-espaciales, poniendo el énfasis en los sujetos afectables por unos niveles acústicos dados. La población dentro de la ciudad se distribuye por zonas, a grandes rasgos, de acuerdo con su estatus socioeconómico y poco o nada se sabe acerca de en qué medida el excesivo ruido penaliza más a unas clases sociales que a otras.
- Se contemplan estudios de detalle relativos al número de viviendas y centros educativos expuestos a determinados valores de un indicador de ruido, por zonas específicas, de acuerdo con la *Ley 37/2003, del Ruido*. Ello implicaría descender a escalas más detalladas que permitan considerar unidades espaciales de análisis de ámbito sub-distrito.
- Se pretende explorar la viabilidad de una evaluación micro-espacial del impacto acústico considerando la naturaleza tridimensional del espacio urbano. La compleja volumetría del tejido urbano hace que el sonido se transmita con variaciones notorias en distancias cortas. Ello reclama realizar un abordaje a micro-escala para aquilatar, aunque sea de manera muestral y exploratoria, los niveles acústicos y los consiguientes impactos que en

altura se dan. Para ello, se puede recurrir a la utilización de programas informáticos de simulación de la difusión tridimensional del sonido.

- Se considera interesante profundizar en la caracterización del concepto de “clima sonoro” de un entorno referido por Sanz Sa (2007), relativo a la evaluación de sus niveles sonoros mediante promedios a largo plazo (1 año), el cual persigue que en la evaluación del ruido ambiental se tengan en cuenta tanto los efectos que el ruido produce atendiendo a sus características propias, como los debidos al tiempo de exposición durante el que los ciudadanos se encuentran sometidos al mismo y sus fluctuaciones, por considerar que tiene una especial aplicación en la elaboración de los mapas estratégicos de ruido y en la planificación acústica. Un posible caso de aplicación podría ser el de la evaluación de los efectos producidos por ruidos molestos que actúan en cortos periodos de tiempo.
- Para concluir, la investigación planteada presenta múltiples facetas de exploración y/o aplicación, de las que se subrayan algunas:
  - a) Para los organismos de la Administración local y regional:
    - Disposición de un instrumento cuantitativo y cartográfico para la evaluación y seguimiento del impacto del ruido ambiental, lo que permitiría mejorar las decisiones de control del mismo.
    - Conocimiento más profundo y pormenorizado de la afección generada por el ruido urbano sobre la población (cantidad de población, categorías sociales afectadas, lugares, momentos, etc.), lo que posibilitaría incluso intentar aproximaciones métricas del concepto de “equidad acústico-ambiental”.
  - b) Para el mercado inmobiliario:
    - Conocimiento exacto de unas externalidades que influyen en la calidad ambiental y, por tanto, en el precio de los inmuebles. En las ciudades españolas el “ocio nocturno” agrava la situación porque, aparte de provocar trastornos en el sueño de las personas, puede estar coadyuvando al despoblamiento o cambio social (*filtering down*) del centro de las ciudades, como es el caso de Madrid. A causa de ello, podría tener lugar una depreciación de las viviendas y locales comerciales, según han evidenciado estudios recientes para algunos casos.
  - c) Para los ciudadanos:
    - Conocimiento de unas variables ambientales, también en términos de externalidades o costes ambientales derivados del desarrollo de las actividades humanas, que les afectan en su vida cotidiana, en su bienestar y salud incluso, de manera manifiesta e indiscutible.

Mejora de las bases informativas sobre las que sustentar el proceso de elección residencial (decisiones de alquiler/compra de vivienda, etc.).



Finalmente, se concluye aquí un trabajo que ha intentado hacer frente al estudio del problema del ruido urbano y contribuir a su conocimiento, con la esperanza de que algún día nuestras ciudades ostenten una calidad ambiental y bienestar objeto de disfrute por todos.



## **10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AENA (AEROPUERTOS ESPAÑOLES Y NAVEGACIÓN AÉREA) (2003): *Aeropuerto de Madrid-Barajas, Galería fotográfica*. Madrid, Ministerio de Fomento. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.aena.es>>.

AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE (1998): *Medio ambiente en Europa. El Informe Dobrás*. Editores D. Stanners y Ph. Bourdeau. Luxemburgo y Madrid, Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas y Ministerio de Medio Ambiente (ed. original 1995).

ALONSO GARCÍA, M. C. (1995): *El régimen jurídico de la contaminación atmosférica y acústica*. Madrid, Editorial Marcial Pons, Ediciones Jurídicas, S.A., Monografías Jurídicas.

ALONSO VELASCO, J. M. (1971): *Ciudad y espacios verdes*. Madrid, Ministerio de la Vivienda, Servicio Central de Publicaciones, 137 pp.

ANTÓN BARBERÁ, F. y SOLER TORMO, J. I. (1996): *Policía y Medio Ambiente*. Granada, Editorial Comares.

ARANA, M. y ASIAIN, J. M. (2001): "Elaboración de mapas acústicos mediante técnicas computacionales", *Mapping*, n.º 68.

ARAÚJO PONCIANO, J. (2007): "Algunas nueces contra el mucho ruido", *Ambienta*, n.º 71, noviembre 2007, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, p. 5.

ARENAS MUÑOZ, J. A. (2000): *Diccionario Técnico y Jurídico del Medio Ambiente*. Madrid, Editorial McGraw-Hill.

ALMAX (2001): *Atlas de Madrid 2002. Guía-callejero de Madrid y Área Metropolitana*. 42.ª ed., Madrid, García y Solís, S.L., Almax Editores.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (s. f.): *Guía Urbana del Ayuntamiento de Madrid*. [En línea]. Disponible en web: <<http://www-2.munimadrid.es/guia/visualizador/login.do>>.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (s. f.): *Sistema de Información Geográfica de Urbanismo*. [En línea]. Disponible en web: <[http://www-2.munimadrid.es/urbanismo\\_inter/visualizador/index\\_inter.jsp](http://www-2.munimadrid.es/urbanismo_inter/visualizador/index_inter.jsp)>.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (1997): *Plan General de Ordenación Urbana de Madrid*, aprobado por el Pleno del Ayuntamiento de Madrid el 17 de diciembre de 1996.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (1999): *Estudio de los niveles sonoros ambientales en el distrito Centro de Madrid, Tomo I, Memoria General*. Departamento de Contaminación Atmosférica, Sección de Niveles Sonoros, Sistema de Información Medioambiental. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calair/>>.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2001): *Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano - Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía, aprobado en la Sesión Plenaria del 31 de mayo de 2001*.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2002 a): *Padrón Municipal de Habitantes de Madrid, revisión a 1 de enero de 2002*. Dirección General de Estadística. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.munimadrid.es/estadistica/poblacion/documentos/PMH2002.pdf>>.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2002 b): *Mapa Acústico de Madrid*. Área de Medio Ambiente, Dirección de Servicios de Gestión de Residuos y Calidad Ambiental, Unidad de Control Acústico, 1.º Plan Estratégico para la Reducción de la Contaminación Acústica (PERCA) (2001-2003).

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2002 c): *Documentación para el manejo del Mapa de Ruido en VisualMap*.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2002 d): *Sistema de Información Medioambiental (SIM), Red de Vigilancia de la Contaminación Acústica*. Área de Medio Ambiente, Departamento de Calidad Ambiental. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.mambiente.munimadrid.es>>.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2002 e): *Mapa de la División Administrativa Municipal de Madrid*. Ayuntamiento de Madrid, Primera Tenencia de Alcaldía, Dirección de Servicios de Estudios y Organización Administrativa, Departamento de Estadística.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2003 a): "Elementos estructurales de la economía madrileña. Superficie y población", *Calidad de Vida*, n.º 47, Área de Salud y Consumo.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2003 b): *PERCA. Plan estratégico para la reducción de la contaminación acústica. Nuevo plano acústico de Madrid (2001-2003)*. Área de Medio Ambiente.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2004): *Ordenanza Municipal de Protección de la Atmósfera contra la Contaminación por Formas de Energía, aprobada por Acuerdo del Pleno del Ayuntamiento de Madrid de 31 de mayo de 2004*.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2006): *Madrid Salud. Madrid*. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.madridsalud.es>>.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2007): *Presentación del Mapa de Ruido de la Ciudad de Madrid de 2006*. Centro Municipal de Acústica, Madrid.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2011 a): *Ordenanza de Protección contra la Contaminación Acústica y Térmica, aprobada por Acuerdo del Pleno del Ayuntamiento de Madrid de 25 de febrero de 2011*.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2011 b): *Mapa Estratégico de Ruido de Madrid. Memoria*. 57 pp.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2014): *Sistema de Información Geográfica del Avance del Plan General de Ordenación Urbana de Madrid*. [En línea]. Disponible en web: <[http://www-2.munimadrid.es/revisiionpg\\_inter/visualizador/index\\_inter.jsp](http://www-2.munimadrid.es/revisiionpg_inter/visualizador/index_inter.jsp)>.

AYUNTAMIENTO DE MADRID (2015): *La Contaminación Acústica*. Disponible en web: <<http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calibre/contAcustica/portadilla.html>>.

BARRADO TIMÓN, D. A. (1999): *Actividades de ocio y recreativas en el medio natural de la Comunidad de Madrid. La ciudad a la búsqueda de la naturaleza*. Comunidad de Madrid, Consejería de Medio Ambiente, p. 327.

BARCELÓ PONS, B. (1975): "Aproximación a una geografía del ruido", *Estudios Geográficos*, 138-139, pp. 1-29.

BARRETT, D. (s. f.): *Urban soundscapes: What should a public space sound like?* Disponible en web: <[https://static.aminer.org/pdf/PDF/000/331/092/first\\_specifications\\_of\\_an\\_information\\_system\\_for\\_urban\\_soundscape.pdf](https://static.aminer.org/pdf/PDF/000/331/092/first_specifications_of_an_information_system_for_urban_soundscape.pdf)>

BEHAR, A. (1994): *El ruido y su control*. Méjico, Editorial Trillas, S.A.

BENTO COELHO, J. L. (1997): "Acústica ambiental, políticas europeas y espacio ibérico", *TecniAcústica* n.º 97. *XXVIII Jornadas Nacionales de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica. Conferencias invitadas y comunicaciones*.

BOE (BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO) (2015): *Iberlex. Legislación estatal, autonómica y comunitaria desde 1960*. Madrid, Ministerio de la Presidencia. [En línea]. Disponible en web: <[http://www.boe.es/g/es/bases\\_datos/iberlex.php](http://www.boe.es/g/es/bases_datos/iberlex.php)>.

BRAMBILLA, G. y MAFFEI, L. (2006): "Responses to noise in urban parks and in rural quiet areas", *Acta Acustica United With Acustica*, n.º 92, pp. 881-886.

BRAU, L., HERCE, M. y TARRAGÓ, M., (1980): *Manual municipal de urbanismo*. Centre d'Estudis Urbanístics, Municipals i Territorials. Barcelona, CEUMT, vols. 1 y 2.

BRÜEL & KJAER (2015): *Productos. Sonómetros*. Disponible en web: <<http://www.bksv.es>>.

- BURRIEL DE ORUETA, E. L. (2002): "Análisis geodemográfico y planificación territorial en España", *Estudios Geográficos*, 248-249, pp. 443-469.
- BURROUGH, P. A. (1986): "Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment", *Monographs on Soil and Resources Survey*, n.º 12, New York, Oxford Science Publications.
- BUZAI, G. D. (2001): "Paradigma Geotecnológico, Geografía Global y CiberGeografía, la gran explosión de un universo digital en expansión", *GeoFocus (Artículos)*, n.º 1, pp. 24-48.
- CALVO-MANZANO, A. y SANTIAGO, J. S. (eds.), número extraordinario de la *Revista de Acústica*, vol. XXVIII, Madrid, Sociedad Española de Acústica, pp. I-V.
- CANO MURCIA, A. (2004): *Régimen Jurídico de la Contaminación Acústica*. Navarra, Editorial Aranzadi, S.A.
- CANOSA ZAMORA, E. (2010): *El espacio público abierto y paisaje urbano en Madrid*, en Martínez de Pisón, E. y Ortega Cantero, N. (eds.): *El paisaje: valores e identidades*, Fundación Duques de Soria, Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, pp. 149-174.
- CANOSA ZAMORA, E., SÁEZ POMBO, E., SANABRIA BRASSART, C. y ZAVALA MORENCOS, I. (2003): "Metodología para el estudio de los parques urbanos: la Comunidad de Madrid", *GeoFocus (Artículos)*, n.º 3, pp. 160-185. Disponible en web: <<http://geofocus.rediris.es/principal.html>>.
- CENTRE D'INFORMATION ET DE DOCUMENTATION SUR LE BRUIT (CIDB) (s. f.): Disponible en web: <<http://www.bruit.fr>>.
- CESVA (2004): *Productos. Sonómetros*. Barcelona, CESVA Instruments, S.L. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.cesva.com>>.
- CHIESURA, A. (2004): "The role of urban parks for the sustainable city", *Landscape and Urban Planning*, n.º 68, pp. 129-138.
- COBO PARRA P. (1997): *Control activo del ruido. Principios y aplicaciones*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Colección Textos Universitarios, n.º 26.
- COMUNIDAD DE MADRID (s. f.): *GEOMADPLAN, Información Geográfica de la Comunidad de Madrid* [CD 1 y 2]. Comunidad de Madrid, Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, Dirección General de Urbanismo y Planificación Regional.
- COMUNIDAD DE MADRID (s. f.): *Visor Cartográfico y de Planes PLANEA*. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.madrid.org/cartografia/visorCartografia>>.
- COMUNIDAD DE MADRID (s. f.): *Visor de Planeamiento Urbanístico*. Dirección General de Urbanismo y Estrategia Territorial. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.madrid.org/cartografia/planea/planeamiento>>.
- COMUNIDAD DE MADRID (1999): *Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid*.
- COMUNIDAD DE MADRID (2002): *Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid*.
- COMUNIDAD DE MADRID (2003): *Informe del Estado de Salud de la Población de la Comunidad de Madrid 2003*. Consejería de Sanidad y Consumo. Disponible en web: <<http://www.madrid.org/sanidad/salud/informe/marcos/ffinforme.htm>>.
- COMUNIDAD DE MADRID (2004): *Catálogo de Hospitales de la Comunidad de Madrid*. [En línea]. Disponible en web: <<http://catalogohospitales.sanidadmadrid.org>>.

COMUNIDAD DE MADRID (2006): *NOMECALLES Nomenclátor Oficial y Callejero*. Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, Instituto de Estadística. [En línea]. Disponible en web: <<http://gestion.madrid.org/nomecalles/>>.

COMUNIDAD DE MADRID (2015): *El ruido en la Comunidad de Madrid*. Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio. Disponible en web: <<http://www.madrid.org>>.

CONGRESO NACIONAL SOBRE RUIDO COMO AGENTE CONTAMINANTE (1987): *Carta de la lucha contra el ruido*. Zaragoza, 6-8 de abril de 1987.

CONSORCIO REGIONAL DE TRANSPORTES DE MADRID (2001): *Plano de los Transportes de la Comunidad de Madrid*. Comunidad de Madrid, Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes. Escala 1:50.000. Serie 4, 2ª ed., julio de 2001.

CONSORCIO REGIONAL DE TRANSPORTES DE MADRID (2002): *Plano de los Transportes de Madrid*. Comunidad de Madrid, Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, Serie 3, 5ª ed., marzo de 2002.

CORRALIZA RODRÍGUEZ, J. A. (1986): "La explicación psicológica de la incompatibilidad entre el individuo y el ambiente", *Conocimiento y Acción*, n.º 1, pp. 103-119.

CORTIZO, J., PRIETO, I., ÁLVAREZ, M., GARCÍA, E., CEPEDA, J. y MELCÓN, B. (2003): *Aplicación de los sistemas de información geográfica: Mapa Acústico de la ciudad de León*. Póster presentado en la IX Conferencia Iberoamericana de SIG, Cáceres, Universidad de Cáceres [cortesía del autor].

DE LA FUENTE REBOLLO, S. (2004): *La Alhambra - El Generalife*. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.fuenterrebollo.com/faqs-numismatica/alhambra.html>>.

DE LA IGLESIA HUERTA, A. (1999): *El ruido y sus consecuencias para la salud, Primer Congreso Nacional sobre el Ruido*. Madrid, Editorial AECOR.

DE MIGUEL GARCÍA, P. (1978): "El tratamiento de la contaminación atmosférica y acústica en el derecho español", *Documentación Administrativa*, n.º 179.

DELGADO BERMEJO, J. (2008): "Un valor añadido. Los sistemas de información geográfica de gestión del Ayuntamiento de Madrid", *Boletín*, n.º 48, diciembre 2008, Asociación Profesional del Cuerpo Superior de Sistemas y Tecnologías de la Información de la Administración del Estado (ASTIC), pp. 54-65.

DESPAX, M. (1990): *Droit de l'environnement*. París, Litec, Droit.

DOMPER FERRANDO, J. (1992): *El medio ambiente y la intervención administrativa en las actividades clasificadas*. Madrid, Editorial Civitas, vols. I y II.

ECHEVERRÍA, J. (2003): *La revolución tecnocientífica*. Fondo de Cultura Económica de España, 280 pp.

ESPAÑA (1978): *Constitución Española de 6 de diciembre de 1978*.

ESPAÑA (2003): *Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido*.

ESPAÑA (2006): *Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido*.

ESPAÑA (2006): *Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente*.

ESPAÑA (2007): *Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*.

FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ, F. (2011): "Estudio general de la contaminación acústica en las ciudades de Andalucía", *Cuadernos Geográficos*, n.º 49 (2011-2), pp. 55-93.

FRANCIA (s. f.): *Code Permanent: Environnement et Nuisances*. Montrouge, Francia, Éditions Législatives et Administratives, Collection des Dictionnaires et Codes Permanents, n.º 1.

FREEDMAN, D.; PISANI, R.; PURVES, R. y ADHIKARI, A. (1993): *Estadística*. Barcelona, Antoni Bosch, S.A., 2.ª ed.

GARCÍA ÁLVAREZ, A. (1981): *Los espacios de ocio en la ordenación del territorio*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente (CEOTMA), Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones, Serie Monografías 13.

GARCÍA BALLESTEROS, A. (1994): "La geografía de la población en el último decenio del siglo XX", *Estudios Geográficos*, n.º 217, pp. 593-615.

GARCÍA BALLESTEROS, A. (2000): "La cuestión ambiental en la geografía del siglo XX", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, n.º 20, pp. 101-114.

GARCÍA RODRÍGUEZ, A. (1988): *La contaminación acústica*. Valencia, Universidad de Valencia, Servicio de Publicaciones.

GARCÍA RODRÍGUEZ, A. (1994): *Estudio del ruido ambiental en la Comunidad Valenciana*. Valencia, Conselleria de Medi Ambient. Generalitat Valenciana.

GARCÍA MACHO, R. (2000): "El principio rector medio ambiente y la protección ciudadana frente a los ruidos", en SOSA WAGNER, F. (coord.), *El Derecho Administrativo en el umbral del siglo XXI. Homenaje al Profesor Dr. D. Ramón Martín Mateo*. Valencia, Editorial Tirant lo Blanch, tomo III.

GARCÍA SANZ, B. y JAVIER GARRIDO, F. (2003): *La contaminación acústica de nuestras ciudades*. Barcelona, Fundación "la Caixa", Colección Estudios Sociales, n.º 12.

GOICOETXEA, I., JIMÉNEZ, A. y PASTOR, F. (1988): *Estudio espacial sobre algunas características de acceso, uso y opiniones de una zona verde intraurbana de Madrid. El Parque del Buen Retiro*. Madrid, Universidad Autónoma de Madrid, Dpto. de Geografía, 72 pp. (informe inédito).

GÓMEZ-VILLALBA BALLESTEROS, E. (1996): "Mejora y prevención en la calidad ambiental del aire: ruidos y vibraciones", en *Curso sobre la Ley de Protección Ambiental Andaluza*. Granada, Editorial Comares-Colegio Oficial de Arquitectos Técnicos y Aparejadores de Granada.

GONZALO GARCÍA, M. (2000): *Estudio de ruido en obras de construcción*. Proyecto Fin de Carrera de la Licenciatura en Ciencias Ambientales, Madrid. Universidad Autónoma de Madrid, (policopiado).

GOOGLE (2015): *Google Maps España*. Disponible en web: <<https://www.google.es/maps>>.

GOZÁLVEZ PÉREZ, V. (1992): "Notas sobre el estado actual de la investigación en Geografía de la población", *Saitabi*, n.º 42, pp. 251-261.

GOULD, M. (1998): "Innovación en los sistemas de información geográfica", en ALEGRE, P. (coord.): *Tecnología geográfica para el siglo XXI*, Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Geografía, pp. 41-59.

GOY, R. (1977): "Les nuisances acoustiques dues à la circulation automobile en milieu urbain", *Droit et Ville*, n.º 4.

GREATER LONDON COUNCIL (1968): *Surveys of the use of open spaces*. Vol. 1, Research Paper, n.º 2.

GUILLÉN LÓPEZ, E., MARTÍN MORALES, R. y REQUENA LÓPEZ, T. (2001): *El régimen constitucional de la Movida*. Granada, Grupo Editorial Universitario, Colección Biblioteca de derechos fundamentales.



HARRIS, C. M. (1977, dir.): *Manual para el control del ruido*. Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local.

HEDE, A. (1998): "Towards a normative model of public policy for environmental noise", *Australia, Acoustics*, n.º 26, pp. 95-100.

HERRERA DEL REY, J. J. (2013): "Botellón. Alcohol y ruido: ¿son los Ayuntamientos, jurídicamente, responsables y competentes?", *Diario La Ley*, n.º 6.578, Sección Doctrina, 26 octubre 2006, Año XXVII, Ref. D-230, Editorial LA LEY.

IECM (INSTITUTO DE ESTADÍSTICA DE LA COMUNIDAD DE MADRID) (2002): Comunidad de Madrid. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.madrid.org/iestadis/>>.

IGN (INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL) (s. f.): *Visor IBERPIX*. Ministerio de Fomento. Disponible en web: <<http://www2.ign.es/iberpix/visoriberpix/visorign.html>>.

IGN (INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL) (2015): *MAPABase* (información espacial del IGN y contenidos estadísticos del INE). Disponible en web: <<http://www.mapabase.es/mapabase>>.

INE (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA) (2004): *Nomenclátor*. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.ine.es/nomen2/index.do>>.

IRIARTE IRRURZUM, J. (1987): "Efectos no auditivos del ruido", en *El ruido como agente contaminante*, tomo II, Congreso Nacional sobre Ruido celebrado en Zaragoza, 6-8 de abril de 1987.

ISO (ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN) (1996): *Estándar Internacional ISO 1996-2, Acústica - Descripción y medida del ruido ambiental*.

JOARDAR, S. D. (1989): "Use and image of neighbourhood parks. A case of limited resources", *Environment and behavior*, vol. 21, n.º 6, November 1989, Sage Publications, Inc., pp. 734-762.

JOERIN, F., THERIAULT, M. y MUSY, A. (2001): "Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment", *International Journal of Geographical Information Science*, 15, 2, pp. 153-174.

JUANG, D. F., LEE, C. H., YANG, T., CHANGE, N. C. (2010): "Noise pollution and its effects on medical care workers and patients in hospitals", *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 7 (4), pp. 705-716.

JURISTAS CONTRA EL RUIDO (s. f.): Disponible en web: <<http://www.juristas-ruidos.org>>.

JUSTE RUIZ, J. (1999): *Derecho internacional del medio ambiente*. Madrid, Editorial McGraw-Hill.

KAPLAN, S. (1983): "A model of person-environment compatibility", *Environment and Behavior*, vol. 15, n.º 3, pp. 311-332.

KUMAR RAMPAL, R. y RASOOL, N. (2005): "Assessment of noise levels in various government hospitals of Jammu City (J&K)", en Kumar, A. (2005, ed.): *Environmental Biology*, Nueva Delhi, APH Publishing Corporation, pp. 239-245.

LAM, K.; NG, S.; HUI, W. y CHAN, P. (2005): "Environmental quality of urban parks and open spaces in Hong Kong", *Environmental Monitoring and Assessment*, n.º 111, pp. 55-73.

LAMARQUE, J. (1975): *Le droit contre le bruit*. París LGDJ.

LEROY-DEVAL, BIJARD y GARNIER (2000): "Le bruit", en *Revue de l'Aménagement du territoire et du développement régional*, n.º especial dedicado al medio ambiente.

LLADÓS GUERRERO, M. (2006): "Los espacios públicos en un entorno de SIG", en CAMACHO OLMEDO, M. T.; CAÑETE PÉREZ, J. A. y LARA VALLE, J. J. (2006, eds.): *Actas del XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*. Granada, Universidad de Granada y Grupo de Tecnologías de la

Información Geográfica de la Asociación de Geógrafos Españoles, pp. 1.583-1.592. Publicación en soporte CD.

LOPERENA ROTA, D. I. (1991): "La protección de la salud y el medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona en la Constitución", en *Estudios sobre la Constitución Española. Homenaje al profesor Eduardo García de Enterría*, Madrid, Editorial Civitas, tomo II.

LÓPEZ BARRIO, I. y CARLES ARRIBAS, J. L. (1997): *La calidad sonora de Valencia*. Valencia, Fundación Bancaixa.

LÓPEZ TRIGAL, L. (1990): "Problemas urbanos en las áreas metropolitanas", *Estudios Territoriales*, n.º 33, pp. 121-145.

LUKAS, J. S. y SWING, J. (1978): *Effects of freeway noise on hearing levels and academic achievements of children*. San Francisco, U.S.A., Internoise 78.

MACHER, M. (1979): *Le paysage sonore*. París, Lattès.

MAGRAB, E. B. (1975): *Environmental noise control*. New York, John Wiley and Sons.

MAGRAMA (MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE) (2015 a): *Contaminación acústica*. España. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.mma.es>>.

MAGRAMA (MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE) (2015 b): *Conceptos básicos de ruido ambiental*. España. [En línea]. Disponible en web: <[http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/contaminacion\\_acustica\\_tcm7-1705.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/contaminacion_acustica_tcm7-1705.pdf)>.

MARTÍN MATEO, R. (1991 y 1992): *Tratado de Derecho Ambiental*. Madrid, Editorial Trivium, vols. I y II.

MARTIN-RETORTILLO BAQUER, L. (1995): "El ruido en el informe del defensor del pueblo sobre 1994", *Revista de Estudios de la Administración Local y Autonómica*, n.º 265, pp. 85-115.

MARTÍN-RETORTILLO BAQUER, L. (1996): "Medio ambiente sonoro", en ESTEVE PARDO, J. (coord.): *Derecho del Medio Ambiente y Administración Local*, Madrid, Editorial Civitas-Diputació de Barcelona.

MARTÍNEZ SARANDESES, J, HERRERO MOLINA, M. A. y MEDINA MURO, M. (1990): *Espacios públicos urbanos. Trazado, urbanización y mantenimiento*, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU), Instituto del Territorio y Urbanismo, pp. 144-145.

METRO DE MADRID (2004): *El Metro hoy, Parque móvil actual*. Madrid, Metro de Madrid, S.A., enero de 2004. [En línea]. Disponible en web: < <http://www.metromadrid.es>>.

MOCH, A. (1988): "Evolution du paysage sonore urbain", en PUMAIN, D. y MATTEI, M. F. (eds.): *Données urbains*. París, Economica.

MOPU (1979): *Encuesta sobre la Calidad de Vida en España*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General del Medio Ambiente, Monografías sobre medio ambiente.

MOPU (1983): *Ruido de tráfico urbano e interurbano. Manual para la planificación urbana y la arquitectura*. Madrid, Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente (CEOTMA), Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones, Serie Manuales, n.º. 4.

MOPU (1989): *Medio Ambiente en España*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Servicio de Publicaciones, Monografías de la Secretaría General de Medio Ambiente.

MORATA TOLEDO, D. y FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ, F. (2013): "El ruido urbano en las ciudades andaluzas y su consideración en los programas electorales municipales", *Cuadernos Geográficos*, n.º 52 (2), pp. 76-98.

MORENO JIMÉNEZ, A. (1999): "En busca de la localización óptima para instalaciones perjudiciales: propuesta de modelos y resolución con sistemas de información geográfica", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, n.º 27, pp. 99-116.

MORENO JIMÉNEZ, A. (2004): *El ruido ambiental en Madrid. Aproximación geográfica a la evaluación cuantitativa de su impacto sociodemográfico*. Madrid, 102 pp. (policopiado).

MORENO JIMÉNEZ, A. (2005, coord.): *Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS*. Madrid, Editorial Ra-Ma, 895 pp.

MORENO JIMÉNEZ, A. (2007 a): "Los sistemas de información geográfica: una breve presentación", en MORENO JIMÉNEZ, A. (coord.): *Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS*, Madrid, Editorial Ra-Ma, 2.ª ed., pp. 335-355.

MORENO JIMÉNEZ, A. (2007 b): "¿Está equitativamente repartida la contaminación sonora urbana? Una evaluación desde el principio de justicia ambiental en la ciudad de Madrid", *Estudios Geográficos*, LXVIII, n.º 263, pp. 595-626.

MORENO JIMÉNEZ, A. (2013): "Entendimiento y naturaleza de la cientificidad geotecnológica: una aproximación desde el pragmatismo epistemológico", *Investigaciones Geográficas*, Universidad de Alicante, Instituto Interuniversitario de Geografía, n.º 60, julio-diciembre de 2013, pp. 05-36.

MORENO, A. y HODGART, R. L. (2003): "Modelling a single type of environmental impact from obnoxious activities in urban areas: implementing locational analysis with geographical information systems", *Environment and Planning A*, 35, 5, pp. 931-946.

MULERO MENDIGORRI, A. (1999): *Introducción al medio ambiente en España*. Barcelona, Ariel.

MUSCAR BENASAYAG, E. (2000): "El ruido nos mata en silencio", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, n.º 20, pp. 149-161.

OCDE (ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS) (1991): *Lutter contre le bruit dans les années 90*. París.

OELS, H. (1965): *La lucha contra el ruido y la preservación de la pureza del aire*. Essen (Alemania), Ministerio Federal de Trabajo y Orden Social, Colección de monografías *La política social en Alemania*, n.º 26.

OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD) (1995): *Community noise*, prepared for WHO by B. Berglund and T. Luidvael, Center for Sensory Research, Stockholm.

OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD) (1999): "Guidelines for Community Noise", en *WHO-Expert Task Force Meeting*, Londres.

OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD) (2000): *Resume d'orientation des directives relatives au bruit dans l'environnement*.

OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD) (2003): *WHO technical meeting on noise and health indicators. Meeting Report*. WHO European Centre for Environment and Health (ECEH), Bruselas (Bélgica).

ONU (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS) (1992): *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*.

ORTEGA ÁLVAREZ, L. I. (1995): "Prólogo", en ALONSO GARCÍA, M. C. (1995): *El régimen jurídico de la contaminación atmosférica y acústica*. Madrid, Editorial Marcial Pons, Ediciones Jurídicas, S.A., Monografías Jurídicas.

PÁGINAS AMARILLAS (2010): *Callejero*. Disponible en web: <<http://callejero.paginasamarillas.es/vemaps/mapa.asp>>.

PAI, J. (2007): "A study in hospital noise. A case from Taiwan". *Journal of Occupational Safety and Ergonomic*, vol. 13 (1), pp. 83-90.

PASTOR SÁINZ-PARDO, I. (2008): "La I Conferencia Nacional de Ruido Ambiental: baja Lden", *Ambienta*, n.º 73, enero 2008, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp. 63-66.

PATMORE, J. A. (1972): *Land and leisure*. Pelican Geography and Environmental Studies, Penguin Books, 338 pp.

PEACRAM (PLATAFORMA ESTATAL CONTRA EL RUIDO Y LAS ACTIVIDADES MOLESTAS) (s. f.): Disponible en web: <<http://www.peacram.com>>.

PERERA MELERO, P. (s. f. a, coord.): *Jornadas internacionales sobre contaminación acústica en las ciudades, Madrid 2002*. Madrid, Ayuntamiento de Madrid.

PERERA MELERO, P. (s. f. b): *Contaminación acústica y política municipal*. 7 pp.

PÉREZ MARTOS, J. (2003): *Ordenación jurídica del ruido*. Madrid, Editorial Montecorvo, S.A.

PHILIMONI, K. M., MKOMA, S. L. y MOSHI, A. A. (2011): "Noise Pollution on Wards in Bunda District Hospital in Lake Victoria Zone, Tanzania", *International Journal of Environmental Sciences*, vol. 1, n.º 5, pp. 1.000-1.008.

PINEDO HAY, J. (2001): *El ruido del ocio. Análisis jurídico de la contaminación acústica producida por las actividades de ocio*. Barcelona, Editorial Bosch, S.A. 55 pp.

RAE (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA DE LA LENGUA) (2001). *Diccionario de la Lengua Española*. 22ª edición, 2001. [En línea]. Disponible en web: <<http://dle.rae.es/>>.

REBOLLO PUIG, M (2004): "Prólogo", en CANO MURCIA, A. (2004): *Régimen Jurídico de la Contaminación Acústica*. Navarra, Editorial Aranzadi, S.A.

RECUERO LÓPEZ, M. (s. f.): *Contaminación acústica*. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Licenciatura en Ciencias Ambientales.

RENFE (2004): *Cercanías. Nuestros Trenes*. Madrid, Ministerio de Fomento. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.renfe.es/cercanias/index.html>>.

RODITTI, G. (2000): *Verde in città. Un approccio geografico al tema dei parchi e dei giardini urbani*. Milano, Guerini Studio.

RODRÍGUEZ-AVIAL LLARDENT, L. (1982): *Zonas verdes y espacios libres en la ciudad*. Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local.

ROULIER F., (1999): "Pour une géographie des milieux sonores", *Cybergeo Révue Européenne de Géographie*, n.º 71, 12 pp.

RUIDOS.ORG (2004): Disponible en web: <[www.ruidos.org](http://www.ruidos.org)>.

RUSSELL, D. (2015): *Longitudinal and Transverse Wave Motion, Acoustics and Vibration Animations*. Flint, MI, EE.UU., Kettering University, GMI Engineering & Management Insitute. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/waves/wavemotion.html>>.

SALVO TIERRA, A. E. (1993): "Naturaleza urbanizada", en Salvo A. E. y García-Verdugo, J. C. (eds.): *Naturaleza urbanizada. Estudios sobre el verde en la ciudad*. Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga, pp. 7-14.

SÁNCHEZ BLANCO, A. (1977): "El tráfico automovilístico, portuario, aéreo y ferroviario. Su incidencia sobre el medio ambiente urbano", *Revista de Administración Pública*, n.º 82.

SANTOS, M. (1995): "A questão do meio ambiente: desafios para a construção de uma perspectiva transdisciplinar", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, n.º 1, pp. 695-705.

SANZ SA, J. M. (1987): *El ruido*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, Serie Unidades Temáticas Ambientales de la Dirección General del Medio Ambiente.

SANZ SA, J. M. (2007): "Real Decreto 1367/2007, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 del ruido. Un paso más en la protección frente al ruido ambiental", *Ambienta*, n.º 71, noviembre 2007, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp. 14-19.

SEELEY, I. H. (1973): *Outdoor recreation and the urban environment*. Londres, The Macmillan Press Ltd., pp. 124-148.

SENSE INTERNACIONAL (2002): *¿Cómo funciona el oído?*. [En línea]. Disponible en web: <[http://www.sordoceguera.org/vc3/sordoceguera/oído/como\\_funciona\\_oído.php](http://www.sordoceguera.org/vc3/sordoceguera/oído/como_funciona_oído.php)>

SEOÁNEZ CALVO, M. y RODRÍGUEZ RAMOS, L. (1978): *La contaminación ambiental. Nuevos planteamientos técnicos y jurídicos*, Madrid, Publicaciones del Instituto de Criminología de la Universidad Complutense.

SMITH, S. L. J. (1992): *Geografía recreativa. Investigación de potenciales turísticos*. México D. F., Editorial Trillas, 289 pp.

SOSA WAGNER, F. (1991): "La lucha contra el ruido", *Revista de Estudios de la Administración Local y Autonómica*, n.º 249, 1991, pp. 11-32.

STEVENSON, G. M. (1972): "Noise and the urban environment", en DETWYLER, T., MARCUS, M. et al. (eds.): *Urbanization and environment*, Belmont, Duxbury Press, pp. 195-228.

TALAMO, M. (1989): *Diritto dell'ambiente. Manuale teorico-pratico*, Nápoles, Simona.

TARTAJ MARCH, R. (2003): *Gradas de Soaso*. Madrid, Fotonatura.org, Foro Hispano de Fotografía de Naturaleza. [En línea]. Disponible en web: <[http://www.fotonatura.org/galerias/foto.php?id\\_foto=65906&id\\_galeria=1618](http://www.fotonatura.org/galerias/foto.php?id_foto=65906&id_galeria=1618)>.

TAYLOR, P. J. (1975): *Distance decay in spatial interactions*. Norwich, Geo Abstracts.

THE NOISE POLLUTION CLEARINGHOUSE (s. f.): Disponible en web : <[www.nonoise.org](http://www.nonoise.org)>.

THE SUSTAINABLE SITES INITIATIVE (2009). *Guidelines and Performance Benchmarks 2009*. American Society of Landscape Architects, Lady Bird Johnson Wildflower Center at The University of Texas at Austin and United States Botanic Garden, EE. UU., 232 pp.

TORNOS MAS, J. (1981): "Ruidos y vibraciones", en *Derecho y Medio Ambiente*, Madrid, CEOTMA, pp. 564-573.

UNIÓN EUROPEA (1996 a): *Informe sobre las ciudades europeas sostenibles*. Comisión Europea, Dirección General de Medio Ambiente, Seguridad Nuclear y Protección Civil, Grupo de expertos sobre medio ambiente urbano, Bruselas, marzo de 1996.

UNIÓN EUROPEA (1996 b): *Libro Verde de la Comisión Europea sobre política futura de lucha contra el ruido* (Documento COM(96) 540 final, Comisión Europea, Bruselas, 4 de noviembre de 1996.

UNIÓN EUROPEA (2002): *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*.

UNIÓN EUROPEA (2003): *Directiva 2003/4/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2003, relativa al acceso del público a la información medioambiental*.

URRUTIA GARRO, C. (2006): "La normativa ambiental dictada por el estado en el año 2005", *Ambiente y derecho*, n.º 4, 2006, pp. 103-135.

VALENZUELA RUBIO, M. (1977): "Aportaciones a una geografía del esparcimiento en Madrid: los espacios verdes", *Rutas de BUTANO*, n.º 28, Temas de Madrid III. Los espacios verdes, Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geografía, pp. 35-46.

VERA JURADO, D. J. (1994): *La disciplina ambiental de las actividades industriales. Autorizaciones y sanciones administrativas en materia de medio ambiente*. Madrid, Editorial Tecnos.

VV.AA. (1991): *El ruido en la ciudad. Gestión y control*. Madrid, Sociedad Española de Acústica.

## **11. ANEXOS**

## **ANEXO 1. ANEXO IV DE LA DIRECTIVA 2002/49/CE, SOBRE EVALUACIÓN Y GESTIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL**

L 189/22

ES

Diario Oficial de las Comunidades Europeas

18.7.2002

### ANEXO IV

#### REQUISITOS MÍNIMOS SOBRE EL CARTOGRAFIADO ESTRATÉGICO DEL RUIDO

contemplados en el artículo 7

1. Un mapa estratégico de ruido es la representación de los datos relativos a alguno de los aspectos siguientes:
  - situación acústica existente, anterior o prevista expresada en función de un indicador de ruido,
  - rebasamiento de un valor límite,
  - número estimado de viviendas, colegios y hospitales en una zona dada que están expuestos a valores específicos de un indicador de ruido,
  - número estimado de personas situadas en una zona expuesta al ruido.
2. Los mapas estratégicos de ruido pueden presentarse al público en forma de:
  - gráficos,
  - datos numéricos en cuadros,
  - datos numéricos en formato electrónico.
3. Los mapas estratégicos de ruido para aglomeraciones harán especial hincapié en el ruido procedente de:
  - el tráfico rodado,
  - el tráfico ferroviario,
  - los aeropuertos,
  - lugares de actividad industrial, incluidos los puertos.
4. El cartografiado estratégico del ruido servirá de:
  - base para los datos que deben enviarse a la Comisión con arreglo al apartado 2 del artículo 10 y el anexo VI,
  - fuente de información destinada al público con arreglo al artículo 9,
  - fundamento de los planes de acción con arreglo al artículo 8.

A cada una de estas funciones corresponde un tipo distinto de mapa estratégico de ruido.

5. En los puntos 1.5, 1.6, 2.5, 2.6 y 2.7 del anexo VI se establecen los requisitos mínimos para los mapas estratégicos de ruido en relación con los datos que deben enviarse a la Comisión.
6. Por lo que se refiere a la información a la población con arreglo al artículo 9 y a la elaboración de los planes de acción en virtud de su artículo 8, se debe proporcionar información adicional y más detallada, por ejemplo:
  - una representación gráfica,
  - mapas que indiquen los rebasamientos de un valor límite,
  - mapas de diferencias que comparen la situación vigente con posibles situaciones futuras,
  - mapas que presenten el valor de un indicador de ruido a una altura de evaluación distinta de 4 m, en caso necesario.

Los Estados miembros pueden establecer normas sobre el tipo y formato de esos mapas de ruido.

7. Se elaborarán mapas estratégicos de ruido de aplicación local o nacional correspondientes a una altura de evaluación de 4 m y a rangos de valores de  $L_{den}$  y  $L_{night}$  de 5 dB como establece el anexo VI.
8. Con respecto a las aglomeraciones urbanas, se elaborarán mapas estratégicos especiales sobre el ruido del tráfico rodado, del tráfico ferroviario, del tráfico aéreo y de la industria. Pueden elaborarse también mapas sobre otras fuentes.
9. La Comisión puede establecer orientaciones con indicaciones más amplias sobre los mapas de ruido, su elaboración, y los programas informáticos de cartografiado, de acuerdo con el apartado 2 del artículo 13.



## **ANEXO 2. NUMERACIÓN OFICIAL DE IDENTIFICADORES DE LOS CUADRADOS DE DIMENSIÓN 200 X 200 M DEL PLANO ACÚSTICO DE MADRID DE 2002**

El número identificador de cada cuadrícula de 200 x 200 m se compone de varios dígitos: los primeros corresponden a la columna en la que se ubica y los últimos a la fila.

Por lo que respecta a las **columnas**, se sigue una secuencia de numeración que avanza de oeste a este, de unidad en unidad hasta llegar a una terminación en “6”, saltando a partir de ahí al comienzo de la decena siguiente. Sirva como ejemplo la siguiente secuencia:

“00 01 02 03 04 05 06 10 11 12 13 14 15 16 20 21 ...”

La última columna (más al este) corresponde a la número “140”, y la primera (más al oeste), a diferencia de lo que cabe esperar no es la “00”, sino la “0.83”. De este modo, la secuencia es la siguiente:

“0.83 0.84 0.85 0.86 0.90 0.91 0.92 0.93 0.94 0.95 0.96 00 01 02 ... ... 140”.

Hay que observar que a través de la aplicación VisualMap Pro, para la que fue diseñado el Mapa de Ruido de Madrid, al visualizar en pantalla los identificadores de los cuadrados, la columna “00” aparece en blanco (*i. e.* los dígitos visualizados corresponden únicamente a las filas), y en las columnas siguientes aparece “1”, “2”, “3” y “4” en vez de “01”, “02”, “03” y “04”. Sin embargo, ello no sucede en la base de datos de Microsoft Access.

Por lo que respecta a las **filas**, éstas se van contando de norte a sur, y la lógica en la secuencia de numeración es parecida a la de las columnas, salvo por que en lugar de producirse el salto a la decena siguiente a partir de los números terminados en “6”, dicho salto tiene lugar a partir de los terminados en “4”. La última fila (más al sur) es la número “162” y, al igual que sucede con las columnas, la primera (más al norte) no es la “00”, sino la “043”. De este modo, la secuencia es la siguiente:

“043 044 050 051 [*se produce un salto en el que no hay cuadrados*] 060 061 062 063 064 [*se produce otro salto en el que no hay cuadrados*] 074 080 081 ... 093 094 00 01 02 03 04 10 11 ... 162”

Como no es difícil concluir, esta lógica resulta bastante confusa y dificulta tanto la identificación de los datos como el trabajo con ellos. Su razón de ser parece tener fundamento en el método operativo de trabajo de la aplicación VisualMap Pro, aunque esta hipótesis no fue comprobada.

### ANEXO 3. TABLA RESUMEN DE ESTADÍSTICOS DE CENTRALIDAD DE LOS DATOS DE NIVELES SONOROS DEL PLANO ACÚSTICO DE MADRID DE 2002

Distri	Máximo			Mínimo			Mediana			Amplitud semi-intercuartil		
	L <sub>Aeq</sub> 24 h	L <sub>Aeq</sub> diurno	L <sub>Aeq</sub> nocturno	L <sub>Aeq</sub> 24 h	L <sub>Aeq</sub> diurno	L <sub>Aeq</sub> nocturno	L <sub>Aeq</sub> 24 h	L <sub>Aeq</sub> diurno	L <sub>Aeq</sub> nocturno	L <sub>Aeq</sub> 24 h	L <sub>Aeq</sub> diurno	L <sub>Aeq</sub> nocturno
	83	85	79	45	47	41	64	65	59	3,5	3	3,5
1. Centro	81	83	72	57	57	48	65	67	60	3	3	3
2. Arganzuela	76	77	72	57	58	52	67	68	62	3	3	3
3. Retiro	75	76	71	53	54	48	67	68	63	3,875	3,5	4
4. Salamanca	78	79	74	49	50	45	67	68	62	4,75	4,5	5
5. Chamartín	80	81	76	52	53	47	65	67	60	4,75	4,5	5,25
6. Tetuán	83	85	79	53	54	48	65	67	60	4	4	4,5
7. Chamberí	72	73	68	59	60	54	66	68	62	1,5	1	2
8. Fuencarral-El Par.	76	77	73	50	51	45	62	63,5	57	3,5	3	3
9. Moncloa-Aravaca	77	78	75	45	47	41	62	63	57	4	3,5	3,5
10. Latina	74	75	71	51	53	47	62	64	57,5	3,5	3,5	2,5
11. Carabanchel	73	74	70	50	51	45	62	63	57	2,5	3	3
12. Usera	75	76	71	55	56	50	64	65	59	3	3	3
13. Pte. de Vallecas	76	77	72	52	53	47	62	64	57	2,5	2,5	3
14. Moratalaz	73	75	69	54	55	49	63	64	58	2,5	2,5	2
15. Ciudad Lineal	75	76	71	51	52	45	66	67	61	3	3	3,5
16. Hortaleza	74	75	70	50	51	45	62	63	57	2,5	2,5	2,5
17. Villaverde	71	72	66	53	54	48	62,5	63,5	58	3,5	3,125	3
18. Villa de Vallecas	70	71	68	53	54	48	66	66	61	3	2,875	3
19. Vicálvaro	72	73	69	56	57	51	61	62	56	2	2,5	2,5
20. San Blas	73	74	69	53	54	48	64	65	59	2,5	2,5	3
21. Barajas	71	72	68	47	49	43	63	64	58	3	3,5	2,5

Tabla 11.1. Resumen de los estadísticos máximo, mínimo y mediana, para el L<sub>Aeq</sub> 24 horas, L<sub>Aeq</sub> diurno y L<sub>Aeq</sub> nocturno, expresados en dBA.

*Fuente: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid 2002.*

## **ANEXO 4. RELACIÓN DE PUBLICACIONES A QUE HA DADO LUGAR ESTA INVESTIGACIÓN**

### **PUBLICACIONES INTERNACIONALES:**

- MARTÍNEZ SUÁREZ, P. y MORENO JIMÉNEZ A. (2005): “**Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos**”, *GeoFocus (Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica)*, nº 5, pp. 220-249. ISSN 1578-5157. Disponible en: <<http://geofocus.rediris.es/principal.html>>.

### **PUBLICACIONES NACIONALES:**

- MARTÍNEZ SUÁREZ, P. y PRIETO FLORES, M. E. (2005): “**Entrada y edición de datos espaciales vectoriales mediante digitalización**”, en MORENO JIMÉNEZ, A. (coord.): *Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS*, Madrid, Editorial Ra-Ma, pp. 335-355, rústica y CD-ROM. 2ª edición corregida y aumentada en 2007. ISBN: 978-84-7897-838-0.
- MORENO JIMÉNEZ A. y MARTÍNEZ SUÁREZ, P. (2005): “**El ruido ambiental urbano en Madrid. Caracterización y evaluación cuantitativa de la población potencialmente afectable**”, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, nº 40, pp. 153-179. ISSN 0212-9426. Disponible en: <<http://www.boletinage.com/articulos/40/07-EL%20RUIDO.pdf>>.
- MARTÍNEZ SUÁREZ, P. y MORENO JIMÉNEZ, A. (2006): “**El ambiente acústico de los hospitales de Madrid: metodología de análisis y diagnóstico con SIG**”, en CAMACHO OLMEDO, M. T., CAÑETE PÉREZ, J. A. y LARA VALLE, J. J. (eds.) (2006): *Actas del XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*, Granada, Universidad de Granada y Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica de la Asociación de Geógrafos Españoles, pp. 995-1012. Publicación en soporte CD-ROM. ISBN: 84-338-3944-6.
- MARTÍNEZ SUÁREZ, P. y MORENO JIMÉNEZ, A. (2006): “**El ambiente acústico de los hospitales de Madrid: metodología de análisis y diagnóstico con SIG**”, *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, año 2006, vol. 39, pp. 125-146. ISSN 2012-5462. Disponible en: <<http://www.ugr.es/~cuadgeo/docs/articulos/039/039-008.pdf>>.
- MARTÍNEZ SUÁREZ, P. y MORENO JIMÉNEZ A. (2013): “**Ruido y quietud en el interior de los parques de Madrid (España): un análisis ambiental de casos con SIG**”, *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*, año 2013, vol. 33, nº 1, pp. 133-160. ISSN: 0211-9803. Disponible en: <<http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/download/42223/40197>>.
- MORENO JIMÉNEZ, A., VINUESA ANGULO, J., CAÑADA TORRECILLA, R. y MARTÍNEZ SUÁREZ (2013): “**Los desequilibrios y reequilibrios intraurbanos en Madrid:**

**diagnóstico 2013**", *Barómetro de Economía de la Ciudad de Madrid* (Ayto. de Madrid), nº 38, 4º trimestre 2013, Análisis Socioeconómico, pp. 87-123. Disponible en: <<http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCObservEconomico/BarometroEconomia/2013/Ficheros/Cuarto%20Trimestre/B38%20MONOGRAFICO%20DESEQUILIBRIOS.pdf>>.

### **RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- MARTÍNEZ SUÁREZ, P. (2011): "**Christopher D. Lloyd (2010): Spatial data analysis: an introduction for GIS users**", *GeoFocus (Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica)* (Recursos), nº 11, año 2011, pp. 1-3. ISSN: 1578-5157. Disponible en: <<http://geofocus.rediris.es/articulos2011.html>>.

### **INFORMES CIENTÍFICO-TÉCNICOS:**

- CAÑADA TORRECILLA, R. y MARTÍNEZ SUÁREZ, P. (2006): "**Calidad ambiental**", en MORENO JIMÉNEZ, A. (dir.): *Análisis de la situación y la evolución del reequilibrio territorial en la ciudad de Madrid* (Ayuntamiento de Madrid), cap. 21, 56 pp. (policopiado).



